

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология  
Магистерская программа «Химическая технология топлива и газа»  
Отделение химической инженерии

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы	
<b>Проектирование технологической схемы установки производства гелия</b>	
УДК 661.939.1.01	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ6Б	Ешисамбуева Аягма Батожаргаловна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения химической инженерии	Юрьев Егор Михайлович	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Криницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Король Ирина Степановна	К.Х.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
«Химическая технология топлива и газа»	Юрьев Егор Михайлович	К.Т.Н.		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды, использовать новое оборудование химической технологии
P2	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы
P3	Уметь применять знания в области процессов химической технологии для решения и анализа производственных задач
P4	Использовать новейшие достижения химической технологии
P5	Находить организационно – управленческие решения в производственных ситуациях
<b>Универсальные компетенции</b>	
P6	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, разрабатывать документацию
P7	Демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации, эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P9	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов

Направление 18.04.01 «Химическая технология», магистерская программа «Химическая технология топлива и газа»

Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Юрьев Е.М.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**магистерской диссертации**

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

Студент:

Группа	ФИО
<b>2ДМ6Б</b>	<b>Ешисамбуева Аягма Батожаргаловна</b>

Тема работы:

<b>Проектирование технологической схемы установки производства гелия</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№2706/с от 18.04.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**24 мая 2018 г.**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования;  
производительность или нагрузка;  
режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.);  
вид сырья или материал изделия;  
требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, экономический анализ и т. д.).*

1) Состав добытого газа на месторождениях, Ковыктинском и Чаяндинском (об.%):

CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>	Ar	He
91,504	4,382	0,94	0,623	0,298	0,124	0,145	0,079	0	1,644	0,007	0,251

2) Общий расход природного газа на ГПЗ для производства гелия – 42 млрд. нм<sup>3</sup> в год.

3) Степень извлечения гелия – не менее 95 % мас. от максимального.

4) Содержания гелия в концентрате – не менее 65 % об.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Гелий, его свойства, применение, происхождение, способы производства;</li> <li>2) Месторождения природного газа с повышенным содержанием гелия в России и в мире; физико-химические особенности природных газов с повышенным содержанием гелия.</li> <li>3) Извлечение гелия из природного газа в России и зарубежом, способы, технологические схемы, история модернизации процесса извлечения гелия;</li> <li>4) Низкотемпературный (криогенный) способ получения гелия (гелиевого концентрата). Особенности, преимущества и недостатки.</li> <li>5) Постановка задачи проектирования.</li> <li>6) Характеристика сырья. Оценка материальных балансов.</li> <li>7) Проектирование технологической схемы и подбор аппаратов извлечения гелия (гелиевого концентрата) из природного газа заданного состава.</li> <li>8) Проектирование низкотемпературной ректификационной колонны получения гелия.</li> <li>9) Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».</li> <li>10) Раздел «Социальная ответственность».</li> <li>11) Заключение (выводы).</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Способы производства гелия: классификация, достоинства и недостатки.</li> <li>2) Карта с указанием крупнейших месторождений природного газа с гелием, объектов производства гелия.</li> <li>3) Характеристика сырья. Характеристика предполагаемых продуктов.</li> <li>4) Технологическая схема производства гелия из природного газа заданного состава.</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</b></p>	<p>Криницына Зоя Васильевна, к.т.н., доцент отделения социально-гуманитарных наук ШБИП</p>
<p><b>«Социальная ответственность»</b></p>	<p>Король Ирина Степановна, к.х.н., доцент отделения контроля и диагностики ШБИП</p>
<p><b>Раздел на иностранном языке</b></p>	<p>Сыскина Анна Александровна, к.ф.н., доцент отделения иностранных языков ШБИП</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Литературный обзор технологий извлечения гелия из природного газа</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12 марта 2018 г.
--	------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ6Б	Ешисамбуева Аягма Батожаргаловна		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов

Направление 18.04.01 «Химическая технология», магистерская программа «Химическая технология топлива и газа»

Уровень образования — магистратура

Отделение химической инженерии

Период выполнения — весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

<b>магистерская диссертация</b>
---------------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	24 мая 2018 г.
--	----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.04.2018 г.	Свойства и применение гелия. Месторождения природного газа с повышенным содержанием гелия и физико-химические особенности природных газов с повышенным содержанием гелия.	10
27.04.2018 г.	Извлечение гелия из природного газа, технологические схемы, история модернизации процесса извлечения гелия; Низкотемпературный способ получения гелиевого концентрата.	10
18.05.2018 г.	Постановка задачи проектирования. Характеристика сырья. Оценка материальных балансов.	10
25.05.2018 г.	Проектирование технологической схемы и подбор аппаратов извлечения гелия (гелиевого концентрата) из природного газа заданного состава.	30
25.05.2018 г.	Проектирование низкотемпературной ректификационной колонны получения гелия.	30
28.05.2018 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность». Раздел на иностранном языке. Заключение (выводы).	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент</b>	<b>Юрьев Е.М.</b>	<b>к.т.н.</b>		

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<b>2ДМ6Б</b>	<b>Ешисамбуева Аягма Батожаргаловна</b>		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент</b>	<b>Юрьев Е.М.</b>	<b>к.т.н.</b>		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ6Б	Ешисамбуева Аягма Батожаргаловна

Школа	ИШПР	Отделение	ОХИ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология топлива и газа»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ).	Плановая себестоимость по выполнению проекта равна 112121,31 рублей. Стоимость оборудования, необходимого для реализации проекта равна 9657 рублей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 27,1 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Предпроектный анализ	1.1 Потенциальные потребители результатов исследования 1.2 Диаграмма Исикава 1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации 1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования
2. Инициация проекта	2.1 Организационная структура проекта 2.2 Ограничения и допущения проекта
3 Планирование управления научно-технологическим проектом	3.1 Иерархическая структура работ проекта 3.2 Контрольные события 3.3 План проекта (календарный план НТИ) 3.4 Бюджет проекта исследования (планируемые затраты на выполнения НТИ) 3.5 Организационная структура проекта 3.6 Матрица ответственности

	<i>3.7 План управления коммуникациями проекта</i>
<i>4 Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>4.1 Оценка экономической и социальной эффективности разработки.</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Диаграмма Исикавы;
2. Иерархическая структура работ проекта
3. Календарный план-график проведения НИОКР;
4. Организационная структура проекта

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	12.03.2018
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Криницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		12.03.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ6Б	Ешисамбуева Аягма Батожаргаловна		12.03.2018

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ6Б	Еписамбуева Аягма Батожаргаловна

Школа	ИШПР	Отделение	ОХИ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология топлива и газа»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	<p>Объектом исследования является низкотемпературная установка производства гелия.</p> <p>Методика исследования – проектирование.</p> <p>Рабочая зона - компьютерный класс корпуса Национального исследовательского Томского политехнического университета.</p> <p>Область применения – химическая промышленность.</p>
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов на рабочем месте</p>	<p>1.1. Электромагнитные поля в производственных условиях. СанПиН 2.2.4.1191–03.</p> <p>Источником электромагнитного поля является экран дисплея.</p> <p>Электромагнитные излучения приводят к развитию функциональных и патологических состояний.</p> <p>Электромагнитное излучение оказывает влияние на репродуктивные функции.</p> <p>Средства индивидуальной защиты: приобретение жидкокристаллического монитора, желательны частые перерывы во время работы.</p> <p>1.2. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ.</p> <p>Источники: ПЭВМ</p> <p>Защита персонала: все токоведущие металлические части электрооборудования подлежат защитному заземлению и занулению.</p>
<b>2. Экологическая безопасность</b>	В данной работе в результате анализа



	не обнаружено выбросов в атмосферу, сбросов в гидросферу и отходов в литосферу.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	<p>Наиболее возможные ЧС для данного объекта исследования – это пожары. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.</p> <p>Для исключения возникновения ЧС необходимо соблюдать меры предосторожности, своевременно производить обучение персонала.</p> <p>Мероприятия, проводимые во время чрезвычайных ситуаций представляют собой проведение спасательных работ и неотложных аварийно-восстановительных работ в очаге поражения.</p>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	<p>– Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 1. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления. ГОСТ EN 894-1-2012.</p> <p>– Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплей. ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	12.03.2018
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н.		12.03.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ6Б	Ешисамбуева Аягма Батожаргаловна		12.03.2018

## Реферат

Выпускная квалификационная работа студента содержит 112 страниц, 26 рисунков, 59 таблиц, 36 литературных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: гелий, проектирование, низкотемпературный способ, природный газ, Амурский ГПЗ, HYSYS.

Объектом исследования являются данные о составе добытого газа на Ковыктинском и Чаяндинском месторождениях.

Целью данной работы является разработка схемы получения гелиевого концентрата в Aspen Hysys и ее анализ с целью выбора оптимального режима работы.

В процессе исследования спроектировано несколько технологических схем получения гелия. Проведен анализ схем с помощью варьирования перепада давления в дросселирующих устройствах и турбодетандерах. Разработан комплекс критериев, по которым сравнивались технологические схемы.

В результате выбрана установка получения гелия низкотемпературным способом с максимальным выходом целевого продукта, с меньшими энергетическими затратами и высоким выходом побочных продуктов.

Степень внедрения: находится на стадии исследования.

Область применения: результаты данной работы могут быть внедрены в проект Амурского газоперерабатывающего завода.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

1. ГОСТ 22667-82. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе.
2. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
3. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
4. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
5. ГОСТ EN 894-1-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 1. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления.
6. ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплей.

В настоящей бакалаврской работе применяются следующие сокращения:

ГПЗ – газоперерабатывающий завод;

ПГ – природный газ;

Kz – кайнозой;

Mz – мезозой;

Pz – Палеозой;

Pr – Протерозой;

США – Соединенные Штаты Америки.

## Оглавление

Введение.....	15
1. Обзор литературы .....	16
1.1 Назначение и свойства гелия.....	16
1.2 Месторождения природного газа с повышенным содержанием гелия в России и в мире .....	18
1.2.1 Запасы зарубежных стран .....	20
1.2.2 Запасы России .....	23
1.3 Извлечение гелия из природного газа России и за рубежом .....	26
1.3.1 История модернизации процесса извлечения гелия.....	27
1.3.2 Способы извлечения гелия .....	29
1.3.3 Низкотемпературный способ получения гелия .....	31
2 Объект и методы исследования .....	36
2.1 Объект исследования .....	36
2.2 Метод исследования .....	37
3 Расчет и аналитика .....	39
3.1 Проектирование работы установки производства гелия в программной среде Aspen HYSYS .....	39
3.2 Проектирование схемы с охлаждением смеси в турбодетандере.....	41
3.3 Проектирование схемы с охлаждением смеси в теплообменнике.....	48
3.4 Проектирование схемы с охлаждением в каскаде дросселирующих устройств.....	53
4. Результаты проведенного исследования .....	58
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	59
5.1 Предпроектный анализ .....	59
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	59
5.1.2 Диаграмма Исикавы.....	59
5.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	62
5.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования .....	63

5.2	Инициация проекта .....	63
5.2.1	Цели и результат проекта .....	64
5.2.2	Организационная структура проекта .....	64
5.2.3	Ограничения и допущения проекта.....	65
5.3	Планирование управления научно-техническим проектом .....	66
5.3.1	Иерархическая структура работ проекта.....	66
5.3.2	Контрольные события проекта.....	67
5.3.3	План проекта .....	67
5.4	Бюджет научного исследования.....	68
5.4.1	Расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.....	69
5.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	70
5.4.3	Основная заработная плата исполнителей .....	70
5.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей .....	72
5.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	72
5.4.6	Научные и производственные командировки.....	73
5.4.7	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями .....	73
5.4.8	Накладные расходы .....	73
5.4.9	Формирование бюджета затрат научно–исследовательского проекта	73
5.4.10	Организационная структура проекта .....	75
5.4.11	Матрица ответственности .....	75
5.4.12	План управления коммуникациями проекта.....	76
5.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	76
5.5.1	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	76
6.	Социальная ответственность .....	80
6.1	Производственная безопасность .....	81
6.1.1	Анализ выявленных вредных и опасных факторов на рабочем месте.	81
6.2	Экологическая безопасность .....	84
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	84

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	85
Выводы и рекомендации по разделу.....	86
Заключение .....	87
Список использованных источников .....	88
Приложение А .....	92

## **Введение**

Уникальность гелия определяется свойствами, которые обуславливают широчайший спектр его использования, причем в большинстве случаев гелий не имеет альтернативы. Гелий широко используется в металлургии, в пищевой промышленности, в качестве хладагента для получения сверхнизких температур, для наполнения воздухоплавающих судов, в качестве теплоносителя в некоторых типах ядерных реакторов. Уже одно перечисление областей применения гелия свидетельствует о том, что он может быть отнесен к высокотехнологичным материалам и стратегически важным природным ресурсом.

Основными источниками для производства гелия в промышленном масштабе являются природный и попутный нефтяной газ, в которых содержание гелия может достигать более 1% об. Для сравнения в приземном слое атмосферы Земли содержится порядка 0,000527% об. гелия, что обусловлено его низкой массой и слабым удерживанием гравитационным полем.

Перспективы России на мировом рынке гелия связаны с освоением и разработкой месторождений Восточной Сибири (Чаяндинское и Ковыктинское).

## 1. Обзор литературы

### 1.1 Назначение и свойства гелия

Гелий – инертный газ, имеющий молекулярную массу 4,0026 и температуру кипения при атмосферном давлении  $-268,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Гелий не имеет запаха, вкуса, нетоксичен, негорюч, легок (плотность при нормальных условиях составляет  $0,1786\text{ кг/м}^3$ ), обладает очень высокой теплопроводностью.

Известно два природных изотопа гелия –  $\text{He}^3$  и  $\text{He}^4$ . Оба они состоят из ядра и двух электронов, но в отличие от  $\text{He}^4$  в ядре  $\text{He}^3$  имеются не два нейтрона на два протона, а только один. Ядро  $\text{He}^4$  очень устойчивое, составляющих его частиц энергия связи равна  $28,11\text{ МэВ}$ . Значительно менее прочно ядро  $\text{He}^3$ . При облучении  $\text{He}^3$  дейтронами образуются  $\text{He}^4$  и водород с выделением огромного количества энергии –  $18,3\text{ МэВ}$  на каждый элементарный акт [1, 2].

В области температур от 0 до  $2,1860\text{ }^{\circ}\text{K}$  жидкий гелий, состоящий из его тяжелого изотопа, проявляет весьма необычные свойства: резко увеличивается его теплопроводность (в  $10^8$  раз), в миллион раз уменьшается вязкость, резко увеличивается скорость распространения звука и т. д. Эти необычные свойства гелия в области температур, близких к абсолютному нулю, позволили открыть явления сверхтекучести и сверхпроводимости, нашедшие себе широкое научное и практическое применение. Гелий диамагнитен, что обусловлено замкнутым состоянием его электронной оболочки. Его магнитная восприимчивость отрицательная [3].

Гелий — наименее химически активный элемент восьмой группы таблицы Менделеева (инертные газы). Многие соединения He существуют только в газовой фазе в виде эксимерных молекул, у которых устойчивы возбуждённые электронные состояния и неустойчиво основное состояние. Гелий образует двухатомные молекулы фторид  $\text{HeF}$ , хлорид  $\text{HeCl}$ .

Гелий лучше других газов следует идеальным газовым законам. При температуре  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$  он вместе с неоном менее сжимаем, чем идеальные газы, а Ar, Kr и Xe более сжимаемы.



Необычные свойства гелия обусловили его широкое применение в различных отраслях науки и техники: в экспериментальной физике, хроматографии, космической и ракетной технике, технологии получения и сварки редких металлов, ядерной энергетике, медицине и другие (табл.1.1).

Таблица 1.1 – Основные области применения гелия ( $\text{He}^3$  и  $\text{He}^4$ ), в том числе в перспективе [4]

Холодный гелий (1,0-10 °K)	Теплый гелий (273-6000 °K)
– выработка электроэнергии – (МГД генераторы с мощностью до 5000 МВт, криотурбогенераторы, токамаки и пр.)	– сварка и резка металлов;
– ускорители, синхрофазотроны, коллайдеры;	– системы охлаждения в реакторах (устойчив к радиационным излучениям, высокая теплопроводность);
– криогенно-вакуумные камеры для контроля за космическими аппаратами;	– течеискатели
– приборостроение и диагностика (магнитные томографы в медицине; сквиды для измерений экстремально малых величин силы тока, напряжений, магнитных полей; спектрометры, болометры для измерения излучений и пр.);	– производство микроэлектронники (сотовые телефоны и пр.)
– очистка и сепарация веществ, в том числе на основе сверхпроводящих магнитов;	– воздухоплавание (атмосферные зонды, аэростаты, дирижабли);
– сохранение и накопление энергии – индуктивные накопители энергии для выравнивания пиковых нагрузок, передача электроэнергии;	– медицина
– гелиевые охладители для атомных реакторов;	– дыхательные смеси для расширяющихся во всем мире подводных работ в связи с добычей нефти и газа на шельфе. Время десатурации на порядок меньше, чем в других атмосферах;
– электродвигатели, ракетные, космические двигатели;	– инертные атмосферы;
– скоростной наземный транспорт на магнитном подвесе (до 500-600 км/час);	– гелиевые лампы, лазеры;
– получение сверхнизких температур (0,001 °K), в том числе для реализации сверхпроводимости и других исследований	– исследования возможной реализации термоядерной реакции нового типа с $\text{He}^3$ (T~6000 °K)

Современные потери гелия при утилизации гелийсодержащихся газов резко превышают объемы его потребления и производства.

## 1.2 Месторождения природного газа с повышенным содержанием гелия в России и в мире

В основе оценки сырьевой базы гелия лежат два независимых параметра:

1. Ресурсы (запасы) природных газов (свободных), дифференцированных по возрастным категориям и глубинам;
2. Средневзвешенное гелиесодержание в них.

Общепринятых кондиций по содержанию гелия в газах, используемых для его промышленного получения в разных странах мира, не существует, поскольку широкое разнообразие его концентраций в газах газонефтеносных провинций вынуждает отдельные страны извлекать его из тех газов, которыми они располагают.

Мировой рынок гелия по разным оценкам составляет порядка 170–190 млн м<sup>3</sup> в год. Крупнейшими запасами обладают США (18 %), Катар (21–25 %), Алжир (17 %) и Россия (34 %). Но сами по себе запасы дают лишь общее представление о потенциале страны. Россия обладает крупнейшими запасами гелия, но при этом производит всего 5 млн м<sup>3</sup> – это лишь 2,5–3 % мирового рынка. Более того, Россия – самодостаточный игрок, так как мы потребляем примерно тот же объём гелия, который производим [5].

Различные подходы к выбору сырьевой базы гелия для его извлечения вынуждают при оценке ресурсов гелия в мире учитывать его в природных газах при разных гелиесодержаниях, что до некоторой степени оправдывается тем, что качественный газогелиевый ресурсный потенциал неизбежно истощается вместе с нарастающей газодобычей в мире для энергетических целей, причем в первую очередь на суше, в пределах хорошо разведанных и освоенных древних платформ.

Запасы гелия оцениваются в газах любого химического состава, преимущественно в свободных по фазовому состоянию. При необходимости могут учитываться также и ресурсы (запасы) гелия, растворенного в нефтях (попутных газах), но их объемы незначительны – менее 0,5–0,8 % от

суммарных объемов гелия в свободных газах, поэтому не меняют общих оценок в пределах той точности расчетов, которая возможна.

Учет запасов любых видов полезных ископаемых, в том числе и гелия, производится при условии наличия технологий его извлечения из недр (сырья) с экономически рентабельными показателями промышленного производства на основе учета прогресса в технологиях. Извлечение гелия из газов технологически реально не только при его содержании 0,005 %, но и даже и из воздуха – 0,000527 % (на воздухоразделительных установках). Но себестоимость извлекаемого гелия при этом возрастает практически прямо пропорционально его содержанию (табл.1.2).

В настоящее время около 85 % всей промышленной мировой добычи гелия производится из газов с гелиесодержанием превышающим 0,3 % по себестоимости 0,5-0,7 долл. США/м<sup>3</sup>. Примерно в тех же масштабах, с небольшим увеличением, цена прогнозируется и на будущее, еще на 15–20 лет как минимум, учитывая современное наличие качественной сырьевой базы (Не > 0,15 %), ее рациональное освоение и ожидаемые объемы потребления в мире.

Таблица 1.2 – Ориентировочная себестоимость производства гелия [7]

Содержание гелия в газе-сырце, %	Себестоимость извлечения гелия, долл. США/м <sup>3</sup>	Примеры источников газового сырья с учетом стоимости попутного товарного продукта
0,0005	> 100	Атмосферный воздух на воздухоразделительных установках. Ar, Ne, Kr, Xe, жидкие азот и кислород.
0,010-0,030	20-40	Газы Западной Сибири, Аляски, Баренцева моря: ШФЛУ, этан, сжиженные пропан-бутан.
0,050-0,060	10-15	Оренбургское месторождение: ШФЛУ, сера, сжиженные пропан-бутан. Гронинген: ШФЛУ, этан, сжиженные пропан-бутан и азот.
0,10-0,30	0,8-2,0	Месторождения Хасси-р-Мель и провинции Ин-Салах (Алжир), а также Ковыктинское (Россия). ШФЛУ, этан, сжиженные пропан-бутан и азот.
0,30-0,50	0,5-1,2	Месторождения Мидконтинента (США), Одоляново (Польша), и юга Восточной Сибири (Россия). ШФЛУ, этан, сжиженные пропан-бутан и азот.
> 0,50	0,3-0,8	Месторождения Мидконтинента (США), а также Райли-Ридж (шт.Вайоминг, США). Весь комплекс углеводородных продуктов, жидкий азот, а для последнего также сера и твердая углекислота.

На начало 2016 г. мировые запасы углеводородных газов составляли 175,5 трлн.м<sup>3</sup>. Их ориентировочное распределение по возрастным категориям, а так же средневзвешенное гелиесодержание в табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Оценка мировых запасов гелия в углеводородных газах по состоянию разведанности на 01.01.2016 г. [8]

Возраст газопродуктивных отложений	Запасы газа		He <sub>ср.</sub> ,%
	трлн.м <sup>3</sup>	% от суммарных запасов	
Кайнозой (Kz)	28,10	16	0,003
Мезозой (Mz)	108,79	62	0,018
Палеозой и протерозой (Pz+Pr)	38,60	22	0,12
Всего	175,50	100	~0,038

Суммарные запасы гелия в газах с гелиесодержанием от 0,05 % и более 0,15 % составляют, примерно, 36 млрд.м<sup>3</sup>. Для последних возможно увеличение за счет новых открытий запасов высокогелиеносных газов в Восточной Сибири и в Скалистых горах США.

Таблица 1.4 – Распределение запасов углеводородных газов и гелия в мире по гелиесодержанию в газе

Гелиесодержание в газе, %	Запасы газа, %	Запасы гелия, %
0,001-0,010	25	1
0,010-0,050	52	30
0,050-0,100	18	25
0,100-0,300	3	26
0,300-3,000	1	24

Таблица 1.5 – Распределение запасов углеводородных газов и гелия в России по гелиесодержанию в газе

Гелиесодержание в газе, %	Запасы газа, %	Запасы гелия, %
0,001-0,010	2	0,1
0,010-0,050	82	11
0,050-0,100	3	7
0,100-0,300	11	82
0,300-0,600	0,1	8

### 1.2.1 Запасы зарубежных стран

Наиболее значительные запасы высококачественного (>0,5 %) газогелиевого сырья за рубежом выявлены в нефтегазоносных бассейнах Мидконтинента и Скалистых гор (США). В последних, в отдельных НГБ (Сан-Хуан и др.), связанных с останками древних пород Северо-Американской

платформы, переработанной в ходе текто-магматической активации в ларамийскую эпоху (поздний мел – ранний палеоцен), были выявлены самые богатые в мире по гелиесодержанию газовые месторождения – 5–10 % с промышленными запасами в основном азотного газа (табл. 4). Ныне все они практически выработаны, но здесь же разведано и освоено одно из крупнейших по запасам гелия месторождение углекислых газов в США – Райли-Ридж с He – 0,55 % и запасами гелия ~ 2,5 млрд.м<sup>3</sup> и примерно такое же – Риджуей, ныне разведывается [9].

Богатейшие по запасам и гелиесодержанию месторождения Мидконтинента постепенно истощаются в связи с интенсивной многолетней газодобычей, но всё ещё сохраняют значительные остаточные запасы для обеспечения основного действующего здесь гелиевого завода (Кейес).

Крупнейшее газогелиевое месторождение в Сахаро-Ливийском НГП – Хасси-Р-Мель содержит 0,17 % гелия с начальными запасами газа 1,5 трлн.м<sup>3</sup>, тоже значительно выработано. Ныне выявлены его аналоги по гелиесодержанию, но не по запасам, в провинции Ин-Салах, впадина Ахнет (Алжир).

В пределах зарубежной части Восточно-Европейской платформы уже практически выработано гелиевое месторождение с высоким содержанием азота (30–40 %) Остров-Великопольский (Одольянове) в Предсудетской моноклинали (Польша).

Таблица 1.6 – Примеры отдельных газогелиевых месторождений зарубежья [10]

Страна	НГБ	Месторождение	Геол. индекс	Глубина, м	Основной состав газа, % (об)				
					CH <sub>4</sub>	ΣC <sub>2</sub> +	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	He
США	Скалистые горы, шт. Нью-Мексика	Холбек	C <sub>2</sub>	1879	29,1	6,1	54,6	2,0	7,17
		Битлебито	T	297	14,4	6,4	78,9	0,3	8,9
		Тейбл Меза	C <sub>1</sub>	2287	5,9	1,6	83,8	1,4	5,7
		Раттлснейк	C <sub>2</sub> +D	2119	14,2	2,8	86,2	2,8	7,81
		Тосито	C <sub>1</sub>	2036	2,6	0,8	96,3	0,3	7,27
	шт. Аризона	Навайо-Чемберс	P-T	~300	0,1	-	90	0,8	8-10
		Пинта-Доум	P	~350	-	-	85	1,5	8

Продолжение таблицы 1.6

Страна	НГБ	Месторождение	Геол. индекс	Глубина, м	Основной состав газа, % (об)				
					CH <sub>4</sub>	ΣC <sub>2</sub> +	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	He
США	шт. Аризона	Баундери Бьютте	C <sub>1</sub>	1695	437	4	36,9	9,6	3,79
		Харлей Доум	J <sub>3</sub>	262	5,1	2,3	91,5	1,1	7,02
	шт. Техас-Оклахома	Хьюготон-Пенхедл	C <sub>2</sub> -P	430-1670	50-77	7-14	10-41	0,1	Ср. 0,47
		Кейес	C	1431	64,3	6,2	26,6	0,7	2,2
		Клиффсайд	P	1011	65,5	7,2	25,1	0,4	1,8
Алжир	Сахаро-Ливийский	Хасси-Р-Мель	T <sub>2</sub>	2150	82,2	12	5,6	0,2	0,17-0,19
Польша	Предсудетская монокли-наль	Одольяново	P <sub>2</sub>	1400-1720	60-68	1,5	30-40	0,2	0,32-0,4
Нидерланды	Цент-рально-Европейский	Гронинген	P <sub>1</sub>	2800-2975	82	4	12-14	0,9	0,04-0,06

В Казахстане, в пределах Туранской плиты еще в 1970-х гг. разведана группа месторождений азотных газов с незначительными запасами, но высоким гелиесодержанием – 0,5 – 0,6 % (Уч-Арал, Азнагул, Кемпир-Тюбе и др.).

В Китае по геологотектоническим условиям наиболее вероятно выявление гелиеносных газов в Таримском бассейне, но информации о них в публикациях не встречно.

Запасы природных газов Тихоокеанской Азии, зарубежной Европы, ближнего Востока, Юго-Западной Африки и Южной Америки, сосредоточенные в основном в продуктивных отложениях мезозоя и кайнозоя на суше и шельфе, как правило, малогелиеносны (0,001-0,020 %). Основные приросты запасов гелия в Зарубежной Азии в последние годы связаны с разведкой пермских отложений преимущественно в зоне акватории Персидского залива (Катар, Северный свод).

Таблица 1.7 – Динамика запасов гелия (млрд. м<sup>3</sup>), учтенных в отдельных зарубежных странах [11]

Страна	Ученные запасы He, млрд. м <sup>3</sup>			
	1997 г.	2001 г.	2005 г.	He <sub>ср.</sub> , %
США	11,0	8,9	8,9	0,4
Канада	2,1	2,0	2,0	0,15
Алжир	2,1	3,0	3,0	0,18
Катар	1,0	2,0	2,0	0,09
Китай	1,1	1,1	1,01	0,15
Польша	0,28	0,28	0,28	0,4
<b>Всего</b>	<b>17,58</b>	<b>17,28</b>	<b>17,28</b>	–

В ряде работ обсуждаются нетрадиционные источники гелия [11]. Среди них – угольные и рудничные газы, водорастворенные газы, а также газонасыщенные трещинные породы древних фундаментов. Это, безусловно, реальные источники, но по экономике освоения и, главное, по возможным объемам добычи – несопоставимы со свободными газами.

### 1.2.2 Запасы России

В середине XX века гелиевая промышленность бывшего СССР испытывала острый дефицит в качественном газогелиевом сырье, поэтому для извлечения гелия использовать даже газы, растворенные в нефтях Ромашкинского и Мухановского месторождений (He – 0,04-0,07 %), которые после ожижения гомологов метана почти удваивали гелиесодержание.

В месторождениях европейской части России ныне преимущественно распространены свободные газы только с незначительно повышенной гелиеиеносностью – 0,05-0,06 %. Ранее имевшаяся в западных месторождениях РФ небольшая часть запасов газа с гелиеиеносностью 0,10-0,25 % к настоящему времени уже практически выработана.

Основная часть запасов природных газов, выявленных в России, характеризуется пониженными концентрациями гелия. В их числе все продуктивные отложения мезозоя в Предкавказье, Прикаспии, Западной Сибири, территории арктических широт, включая северный шельф, а также на севере и востоке Восточной Сибири и на Дальнем Востоке (рис.1.2). Гелиеиеносность природных газов в них, меняется в основном интервале 0,008-

0,025 %. В продуктивных отложениях кайнозоя Предкавказья, Сахалина и Тихоокеанского шельфа гелиеносность газов низкая, в основном 0,001-0,006 %.

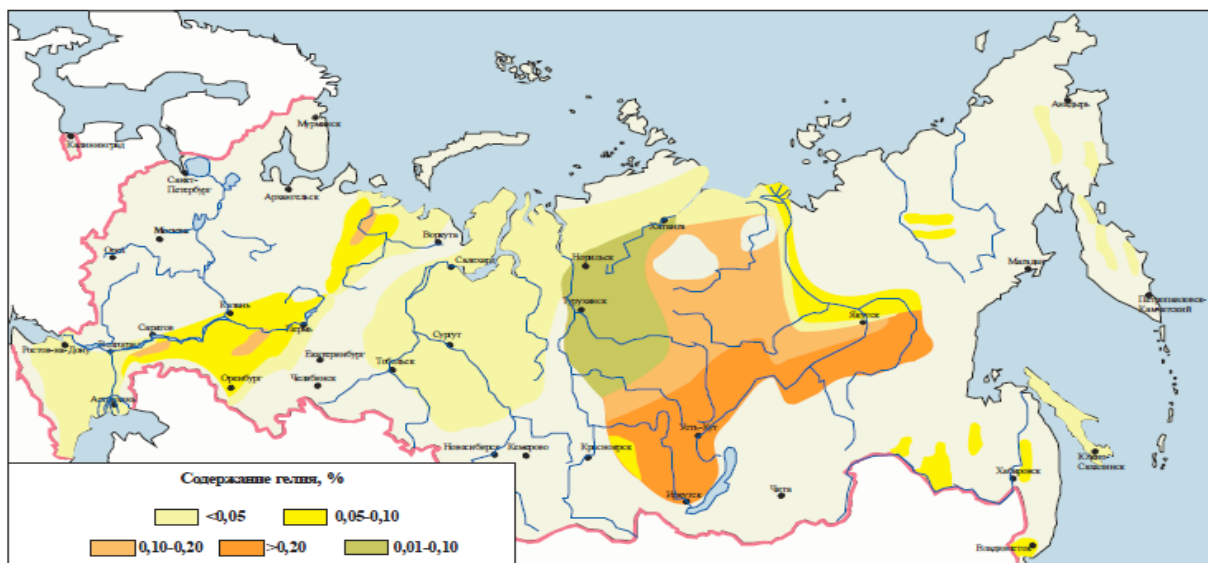


Рисунок 1.1 – Схема гелиеносности природных газов нефтегазоносных бассейнов России [12]

Во второй половине XX века началось открытие по запасам высококачественных газогелиевых месторождений в Восточной Сибири (0,2-0,6 %). В их числе, в первую очередь, Ковыктинское месторождение, специфической особенностью состава газов которого было крайне низкое содержание азота – 1,5 %. И хотя содержание гелия в нем – 0,26-0,28 % – уступает месторождениям Мидконтинента (США) – 0,7-2,0 % но последние высокоазотны 15-26 %, поэтому гелиевый концентрат, получаемый после сжижения углеводородов и поступающий в хранилище в Клиффсайде, был более низкого качества ( $He \sim 70\%$ ), чем тот, который может быть получен из газов Ковыктинского месторождения – 85,6 % при тех же энергозатратах [13].

На южных окраинах древнейшей Сибирской платформы уже открыто 26 газогелиевых месторождений, часть которых с крупнейшими ( $>200$  млн.  $m^3$ ) и даже уникальными ( $>1$  млрд.  $m^3$ ) балансовыми запасами гелия ( $ABC_1+C_2$ ) с гелиесодержанием 0,15-0,57 %. Среди них Ковыктинское и Дулисьминское в Иркутской обл., Собинское и Юрубчено-Тохомское в Эвенкии, Верневилючанское, Тас-Юряхское, Средне-Ботуобинское и Чаяндинское в Республике Саха (Якутия) только по месторождениям Восточной Сибири



составляют, примерно, 16 млрд. м<sup>3</sup> с гелиесодержанием, меняющимся в среднем в разных регионах от 0,2 до 0,6 %. Запасы гелия сосредоточены в свободных газовых залежах и в газовых шапках месторождений. Многие из них подготовлены к промышленному освоению, некоторые даже разрабатываются для местного газоснабжения, но в незначительных объемах (0,1-0,2 % от объема подготовленных запасов).

Особо следует отметить, что уже выявленными месторождениями ресурсы гелия в регионе не исчерпываются, поскольку поисковые работы будут продолжаться, а прогнозные и перспективные ресурсы гелия в этом регионе (кат. С<sub>3</sub> + Д) оцениваются в объеме близком к 30-35 млрд. м<sup>3</sup>. Иными словами, в пределах юга древней Сибирской платформы выявлена крупнейшая по уже подготовленным к освоению запасам и прогнозируемым ресурсам газогелиевая провинция и ей нет аналога в пределах всего Евразийского континента.

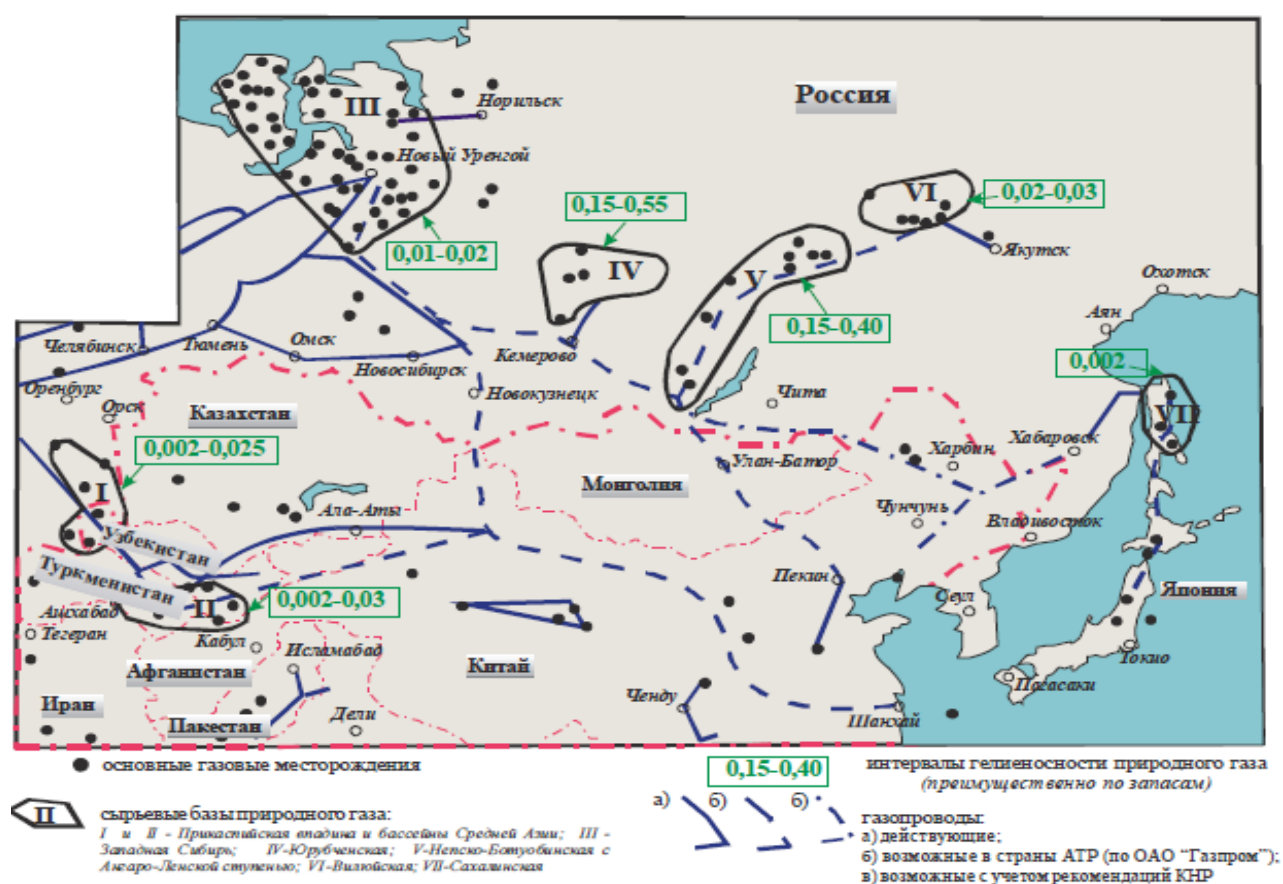


Рисунок 1.2 – Возможные направления магистральных газопроводов в страны Азиатско-Тихоокеанского региона и характеристика гелиеисодержания природных газов по их основным сырьевым базам [14]

Таблица 1.8 – Основные газогелиевые месторождения Восточной Сибири с запасами гелия по категории  $C_1 > 100$  млн.м<sup>3</sup> и гелиесодержанием  $> 0,15$  %

Месторождения	Запасы гелия по категориям $ABC_1+C_2$ , млн. м <sup>3</sup>	Состав газа, об. %			
		Метан	$C_{2+}$	Азот	Гелий
Собинское НГКМ	907	67,5	6,4	25,3	0,57
Дулисьминское НГКМ	205	84,1	9,0	6,8	0,16
Ковыктинское ГКМ	5062	92,3	5,7	1,5	0,26-0,3
Верхневиллючанское НГМ	280	84,5	7,5	7,5	0,13-0,17
Тас-Юряхское НГКМ	459	84,4	7,0	8,1	0,38
Среднеботуобинское НГКМ	664	83,8	6,9	8,0	0,2-0,67
Чаяндинское НГКМ <sup>1</sup>	1400	85,6	6,9	8,2	0,43
Чаяндинское НГКМ <sup>2</sup>	5790	н/д	н/д	н/д	0,65

1 – газовая шапка, 2 – основная залежь

Важно подчеркнуть также, что в отличие от северо-американских месторождений Мидконтинента, сырьевая база которых в значительной мере исчерпана, Восточно-Сибирская еще практически не начала осваиваться и ее промышленные запасы продолжают пополняться. Но перед Россией, также как в свое время перед США, встанет та же проблема необходимости сохранения резервов запасов гелия на перспективу, поскольку на всей территории России и сопредельных с нею стран обнаружение новых зон с высокогелиеносными газами не прогнозируется. Вся новая газопродуктивность на их территориях будет связана с малогелиеносными газами  $Mz-Kz$ , либо с большими глубинами в  $Pz$ .

### 1.3 Извлечение гелия из природного газа России и за рубежом

При разработке технологических схем установок для извлечения гелия из природных или попутных нефтяных газов и выбора параметров их работы необходимо учитывать следующие данные: состав исходного газа и содержание в нем гелия; чистоту получаемого гелия; производительность установки; давление исходного газа.

Технико-экономические показатели установок для извлечения гелия из природных или попутных нефтяных газов определяются в основном составом исходного газа, содержанием в нем гелия и выбором холодильного цикла для

покрытия потерь холода. Общий баланс холодопроизводительности установки определяется глубиной очистки получаемого гелия и долей природного газа и тяжелых углеводородов, выводимых в жидком виде. На холодопроизводительность установки и температурный режим процесса извлечения гелия влияет также содержание азота в исходном газе. Если установка предназначена только для выделения гелия из природного газа, то потребность в холоде может быть покрыта путем использования холодильного цикла с однократным дросселированием исходного природного газа с предварительным охлаждением (аммиачным, метановым или пропановым). При этом перепад давлений природного газа на входе в установку и на выходе из нее обычно не превышает 0,8-1,5 МПа.

В крупных установках, перерабатывающих бедный гелием природный газ, обычно используются холодильные циклы с двумя давлениями газовых потоков, притом большая часть холодопотерь покрывается в основном холодильном цикле с высоким перепадом давлений. В установках комплексного разделения природного газа с получением части газов в жидком состоянии может быть применен каскадный холодильный цикл, например пропан-этановый. Жидкий азот, используемый в качестве хладагента, в конечных стадиях процесса извлечения и тонкой очистки гелия целесообразно получать в циркуляционном азотном цикле, т.е. в отдельной азотной установке с использованием предварительного охлаждения азота обратными потоками природного газа.

### **1.3.1 История модернизации процесса извлечения гелия**

Исторически сложилось так, что первая установка по извлечению гелия из природного газа (ПГ) была построена в США ещё в 1917 г. Но только с начала 60-ых гг. производство гелия стало приобретать крупномасштабный характер. За прошедшие примерно 40 лет в США было построено более 20 установок для извлечения гелиевого концентрата и получения чистого гелия. Позднее несколько установок были введены в эксплуатацию в России, Алжире, Польше, а в последние годы — в Канаде, Катаре, Австралии.

В России с 1978 г. функционирует единственный производитель и поставщик гелия – гелиевый завод ООО «Газпром добыча Оренбург».

Часть установок извлечения гелия, выработав запасы месторождений, уже выведены из эксплуатации. По данным к 2005 г. в работе оставались по всему миру всего 14 установок, которые производили примерно 165 млн. м<sup>3</sup> гелия, в том числе 75 % этого объёма приходится на долю США. Для сравнения скажем, что с пуском Оренбургского гелиевого завода в России был достигнут уровень производства гелия 9 млн. м<sup>3</sup> в год [15].

В 70-90-ых годах вслед за успехами технологий применения гелия потребности в нём устойчиво росли с темпом почти 8 % в год. Постепенно стали ощущаться диспропорции между потребностями и производственными возможностями получения гелия. Анализ маркетинговой ситуации, выполненный фирмой «Air Products», показывал, что после 2003 г. спрос на гелий будет превышать возможности мирового производства. Характерно, что в технической литературе появились публикации, посвящённые разработкам по экономному расходованию, сбору, переработке и повторному использованию гелия в научных исследованиях и промышленности. Тем не менее, после использования большая часть гелия выбрасывается в атмосферу и теряется безвозвратно.

Однако именно в это время появляются новые возможности для расширения извлечения гелия из природного газа. Было обращено внимание, что возможности промышленности СПГ Алжира позволяют извлекать до 100 млн. м<sup>3</sup> гелия в год, тогда как реально извлекается только 17 млн. м<sup>3</sup>. В Катаре фирмой «Air Liquide» построен крупный гелиевый завод, позволяющий удовлетворить примерно 10 % мирового спроса на гелий [17, 18]. Характерно, что по условиям соглашения с «RasGas» и «QatarGas» примерно половина производительности завода на 20 лет передаётся для реализации фирме «Air Liquide», 30 % — «Linde», что укрепляет их позиции как крупных поставщиков гелия [15].

### 1.3.2 Способы извлечения гелия

Производство гелия из природного газа осуществляют четырьмя способами: абсорбцией фторсодержащими соединениями; гидратообразованием; мембранной технологией; криогенными методами.

*Получение гелия абсорбцией фторсодержащими соединениями.* Абсорбционный процесс получения гелия основан на высокой поглотительной способности фторсодержащих соединений ( $\text{CCl}_3\text{F}$ ,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  и др.) по отношению к компонентам природного газа, кроме самого гелия. Так, например, метан в этих соединениях в 10–20 раз более растворим, чем гелий. С понижением температуры абсорбции до  $-20 \div -30$  °C растворимость всех компонентов газа возрастает, причем для гелия эта растворимость увеличивается значительно меньше, чем для других компонентов. Таким образом, из абсорбера на установке получения гелия выходит гелий достаточно высокой концентрации [16].

*Получение гелия гидратообразованием.*

Получение гелия гидратообразованием основано на его неспособности при пониженных температурах и повышенных давлениях образовывать кристаллогидраты, в то время как другие компоненты газа (легкие углеводороды, диоксид углерода, сероводород, азот) кристаллогидраты образуют. Однако существенным недостатком этого процесса является большая потребность в воде, т. к. соотношение поступающих в контактор воды и природного газа по массе должно быть в пределах от 20 : 1 до 100 : 1.

*Получение гелия мембранной технологией.*

Мембранный метод выделения гелия из природного газа рассматривается как один из альтернативных и перспективных. Он основан на высокой способности гелия проникать через мембраны и капилляры, причем такая технология обладает низкой энергоемкостью по сравнению с другими методами.

Материалом, из которого изготавливают капилляры, может являться кварцевое стекло, хорошо пропускающее гелий и плохо – другие компоненты

природного газа. При определенных условиях в таких капиллярах могут собираться значительные количества гелия. Для этой цели смесь должна контактировать с большой поверхностью и стекло должно быть очень тонким. Кроме того, необходимо поддерживать большую разницу давлений снаружи и внутри капилляров. Наиболее удачная конфигурация для создания таких условий – расположение пучка стеклянных капилляров таким образом, чтобы газовая смесь под большим давлением омывала капилляры, в которых собирается гелий. Для проведения процесса пучок запаянных с одной стороны капилляров помещается внутрь трубы, через которую пропускают газ или гелий-сырец. Открытыми концами капилляры подходят к общему коллектору, в который вытесняется гелий.

В качестве материалов для изготовления мембран могут также использоваться ацетатцеллюлоза и различные полимерные соединения. Мембраны для извлечения гелия должны обладать высокой проницаемостью для гелия, быть химически и физически стабильными, не иметь дефектов в виде микропор, выдерживать сравнительно низкие температуры и высокие перепады давления между перерабатываемым природным газом и полученным концентратом гелия. Процесс проводят при температурах от  $-5$  до  $+25$  °С, перепад давления на мембране достигает 2,5–3,5 МПа и выше, содержание гелия в получаемом концентрате составляет 80–90 % об. Мембранный метод достаточно эффективен при небольших количествах перерабатываемого сырья.

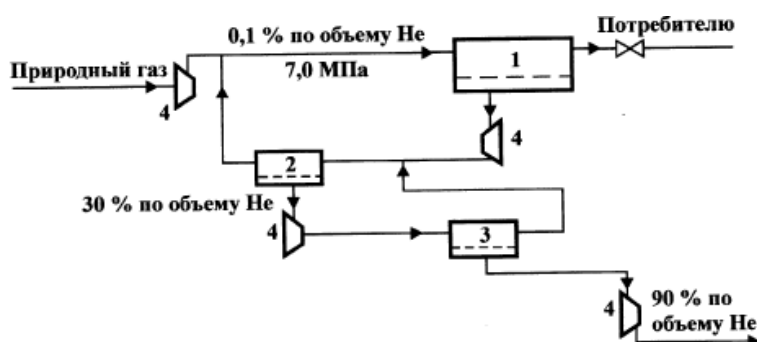


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема установки выделения гелия из природного газа: 1, 2, 3 – мембранные аппараты соответственно первой, второй и третьей ступеней; 4 – компрессоры [17]

В мировой практике для целей выделения гелия из состава природного газа в основном применяют криогенный метод, используемый также при выделении из природного газа других индивидуальных компонентов, а также при производстве СПГ. Использование адсорбционного метода для выделения гелия из природного газа крайне затруднительно в связи с тем, что при его реализации потребуется обеспечить адсорбцию всего объема метана и других компонентов природного газа, что в свою очередь приведет к значительным габаритам используемого оборудования и как, следствие, крайне высоким капитальным вложениям в создание установки.

### **1.3.3 Низкотемпературный способ получения гелия**

Криогенный способ получения гелия наиболее широко распространен и основан на последовательной конденсации компонентов природного газа при понижении температуры. На криогенных установках получают гелий-сырец или гелиевый концентрат с содержанием гелия 50–85 % об., который затем для получения высокочистого гелия (до 99,995 % об.) подвергают химической, адсорбционной или каталитической очистке.

Существует два варианта технологических схем криогенных установок (рис. 1.4, 1.5).

По варианту I (рис. 1.4) природный газ под давлением 2,0 МПа охлаждается в рекуперативных теплообменниках до  $-28^{\circ}\text{C}$  и аммиаком до  $-45^{\circ}\text{C}$ , затем дросселируется до 1,2 МПа и поступает в колонну. В ней от газа отделяется в основном метан с примесью азота V, а сверху уходит газ с содержанием гелия около 3 % об. Этот газ еще раз конденсируется (кипящим при 0,4 МПа азотом) во второй колонне, с верха которой уходит гелиевый концентрат III, содержащий до 80–90 % гелия. Верх первой колонны охлаждается ее же кубовой жидкостью, дросселированной до давления 0,15 МПа.

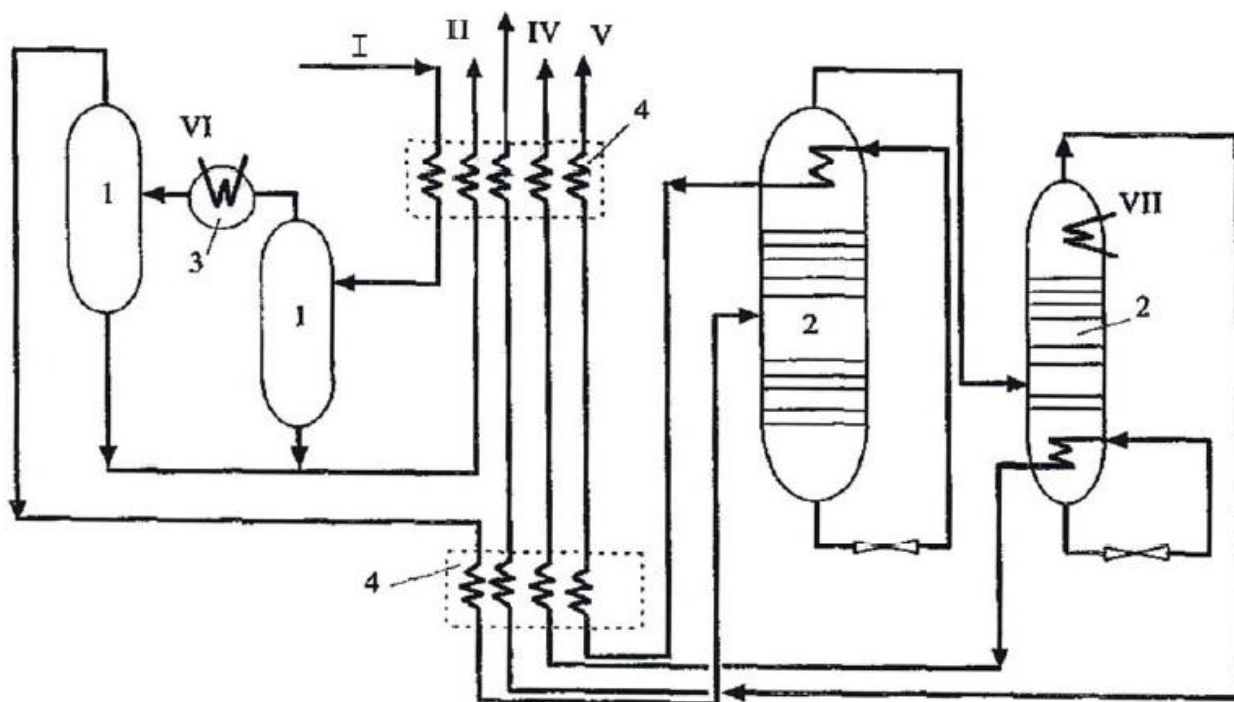


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема получения гелиевого концентрата (вариант I): 1 – сепараторы; 2 – колонны; 3 – холодильник; 4 – рекуперативные теплообменники; I – природный газ; II – жидкие углеводороды; III – гелиевый концентрат; IV – концентрат азота; V – сухой газ (метан-азотная смесь); VI – аммиак; VII – кипящий азот [18].

По варианту II (рис. 1.5) очищенный и осушенный газ I под давлением 3,2 МПа охлаждается вначале пропаном, затем в двух рекуперативных теплообменниках (с промежуточной сепарацией) – до  $-104^{\circ}\text{C}$  и после дросселирования с температурой  $-153^{\circ}\text{C}$  подается в колонну. С низа этой колонны отводится в основном метан. Верх колонны охлаждается за счет рекуперации холода, отчего в ней поддерживается температура  $-191^{\circ}\text{C}$ , при которой сверху отводится смесь гелия и азота. Эта смесь затем доохлаждается в двух рекуперативных теплообменниках и в двух сепараторах разделяется на концентрат гелия (85 %) и концентрат азота (99,5 %). Последний, расширяясь в турбодетандере 5, охлаждает верх колонны и отводится как продукт. По такому варианту извлекается около 85–96 % гелия от его исходного содержания в газе (по варианту I степень извлечения ниже – не превышает 85 %).



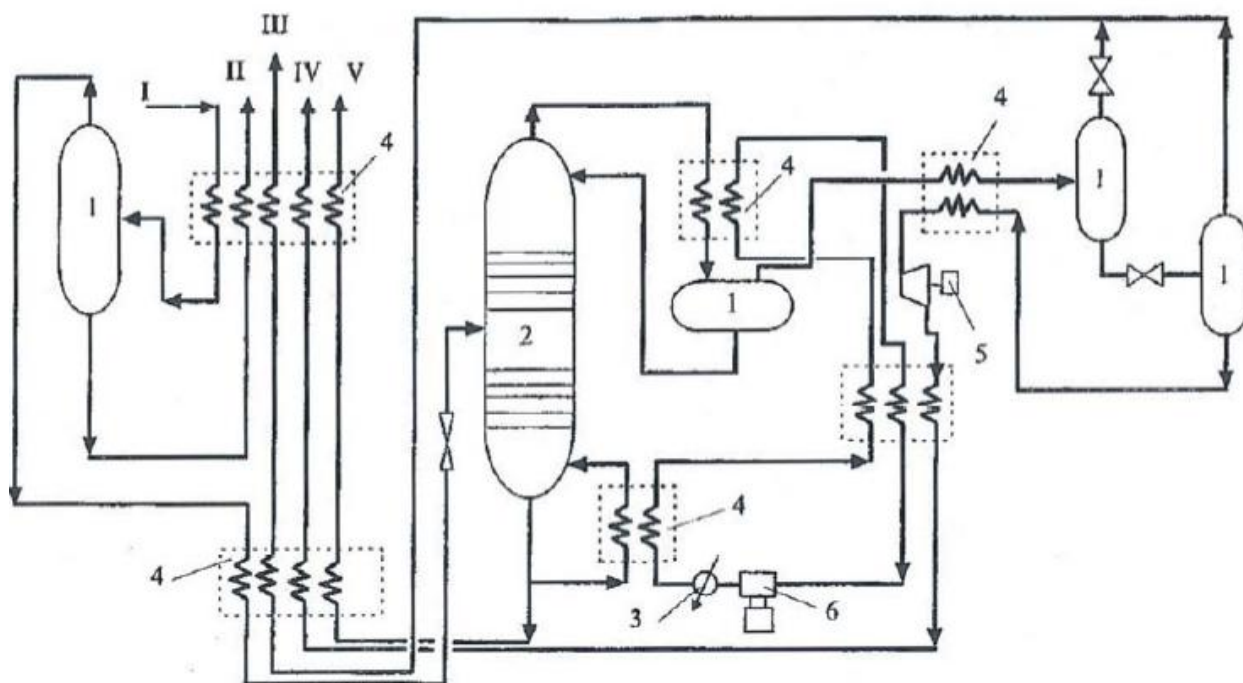


Рисунок 1.5 – Принципиальная схема получения гелиевого концентрата (вариант II): 1 – сепараторы; 2 – колонны; 3 – холодильник; 4 – рекуперативные теплообменники; 5 – турбодетандер; 6 – компрессор [18]

Полученный на криогенных установках гелиевый концентрат подвергают глубокой очистке с использованием еще более глубокого охлаждения. Очистка направлена на удаление из концентрата примесей водорода, азота, метана и др., обычно состоит из четырех стадий:

- 1) очистка концентрата от примесей водорода его окислением на специальном катализаторе, содержащем оксид меди;
- 2) глубокая осушка от влаги, образовавшейся при окислении водорода, адсорбцией на молекулярных ситах-цеолитах или оксиде алюминия;
- 3) сжатие концентрата до 15–20 МПа и охлаждение до  $-207^{\circ}\text{C}$  с последующим его дросселированием и сепарацией в одну или две ступени для удаления остатков азота. Концентрат после этой стадии содержит гелий в количестве 99,5 % об.;
- 4) адсорбционная доочистка концентрата на активированных углях, охлаждаемых жидким азотом. После этой стадии получают товарный гелий концентрацией 99,98 % об.

Товарный гелий хранят в сжатом или сжиженном виде. Сжатый гелий находится в газовых баллонах под давлением до 15 МПа.

Для перевода товарного гелия в жидкое состояние его сначала охлаждают жидким азотом, затем направляют последовательно в турбодетандер и парожидкостной турбодетандер (или дросселируют). В результате этих процессов гелий частично переходит в жидкую фазу, и его доочищают в адсорберах, размещенных в агрегатах охлаждения, от примесей воздуха и неона.

Полученный жидкий гелий заливают в сосуды Дьюара различной вместимости, а большие количества (до 120 м<sup>3</sup>) – в криогенные хранилища.

Таблица 1.9 – Требования к товарным продуктам установок получения гелия по ТУ 51-940-80 «Гелий газообразный (сжатый)» [19]

Объемная доля	А	Б	В
Гелия, % не менее <sup>1</sup>	99,995	99,99	-
Гелия + неона, % не менее <sup>1</sup>	-	-	99,99
Водорода, % не более	0,001	0,0025	0,0025
Кислорода + аргона, % не более	0,0001	-	-
Кислорода, % не более	-	0,0005	0,001
Азота, % не более	0,0005	0,002	0,004
Аргона, % не более	-	0,0001	0,001
СО <sub>2</sub> +СО, % не более	0,0002	0,001	0,001
Углеводородов, % не более	0,0001	0,0005	0,003
Неона, % не более	0,004	0,009	0,04
Паров, % не более	0,0005	0,002	0,002

<sup>1</sup>Объемные доли гелия и гелия + неона даны в пересчете на сухое вещество.

Недостатками криогенного получения гелия являются большие затраты на строительство заводов (работа при криогенных условиях требует особых материалов, сложных контрольно-измерительных приборов и т.п.), а также значительных затрат энергии на охлаждение и сжижение компонентов природного газа. В криогенном способе, применяемом на Оренбургском гелиевом заводе, для охлаждения газа используется троекратное дросселирование (разрежение) и передача тепла от поступающего в установку газа обратному потоку охлажденного газа. Кроме того, в качестве дополнительных источников холода включается пропановая, а затем азотная

холодильная установка. В процессе постепенного охлаждения газа до  $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$  все основные компоненты ожижаются, и на выходе получается гелиевый концентрат с содержанием гелия 90-92 %. Затем концентрат поступает в специальные блоки тонкой очистки, где также за счет ожижения остатков азота при температуре кипящего азота и давлении 19 МПа концентрация гелия доводится до его соответствия марке «А» – 99,995 %. Вторую стадию также проводят методом адсорбции азота и других примесей в криогенных адсорберах (например, так делают в Польше) или методом безнагревной короткоцикловой адсорбции (PSA), получившим широкое распространение в США.

В настоящее время способ низкотемпературной конденсации и ректификации основных компонентов природного газа остается самым надежным и наиболее производительным, позволяющим перерабатывать с большой скоростью, поступающий на установку природный газ. Предлагаемые другие способы получения гелиевого концентрата пока не могут быть конкурентоспособными по надежности, производительности и капитальным затратам, их разработка остается на уровне либо неосуществленных проектов, общих описаний, либо в лучшем случае - в виде действующих лабораторных или опытно-производственных установок.

## 2 Объект и методы исследования

### 2.1 Объект исследования

Работа направлена на разработку возможной технологической схемы выделения гелия из смеси природных газов Ковыктинского и Чаяндинского месторождений. Данная разработка может найти промышленное внедрение на Амурском ГПЗ.

Амурский газоперерабатывающий завод будет построен в Дальневосточном Федеральном округе РФ, в Свободненском районе Амурской области. Это будет крупнейшее в России и одно из крупнейших газоперерабатывающих предприятий в мире. Проектная мощность предприятия составит до 42 млрд.  $\text{нм}^3$  в год по сырью.

Амурский ГПЗ необходим для подготовки многокомпонентного газа, поступающего по газопроводу «Сила Сибири» с Якутского и Иркутского центров газодобычи.

Объектом исследования являются данные о составе добытого газа на Ковыктинском и Чаяндинском месторождениях.

Состав добытого газа на месторождениях, Ковыктинском и Чаяндинском представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Состав газа (об. %)

$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{N}_2$	Ar	He
91,504	4,382	0,94	0,623	0,298	0,124	0,145	0,079	0	1,644	0,007	0,251

На первом этапе производственной цепочки от газа отделяется углеводородный конденсат, затем газ очищается от  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$  на аминовых установках, охлаждается и поступает на установку получения гелия. В результате получаем состав сырья установки производства гелия (табл.2.2).

Таблица 2.2 – Состав сырья (об. %)

$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{N}_2$	Ar	He
91,640	4,388	0,941	0,624	0,298	0,124	0	0,079	0	1,646	0,007	0,251

Пуск завода предусмотрен очередями это 6 технологических линий по 7 млрд.  $\text{нм}^3$  газа. Расход природного газа на газоперерабатывающем заводе для производства гелия на одной установке составит 7 млрд.  $\text{нм}^3$  газа.

Целью данной работы является разработка схемы получения гелиевого концентрата в Aspen Hysys и ее анализ с целью выбора оптимального режима работы.

Необходимо спроектировать схему с составом сырья из таблицы 2.2, расходом природного газа 7 млрд.  $\text{нм}^3$  газа. Получить из него, основываясь на предложенных в п.1 схемах, гелиевый концентрат, удовлетворяющий следующим критериям:

- Степень извлечения гелия – не менее 95 % мас. от максимального;
- Содержание гелия в концентрате – не менее 65 % об.

## 2.2 Метод исследования

В процессе разработки был использован следующий программный продукт:

- Aspentech HYSYS 7.3.

Aspen HYSYS – это ведущий в отрасли инструмент моделирования процессов для концептуального проектирования, оптимизации, бизнес-планирования, управления активами и мониторинга производительности для нефтегазодобычи, переработки газа, нефтепереработки и разделения воздуха. Aspen HYSYS является основным элементом приложений AspenTech aspenONE® Engineering. Особенности:

- Прост в использовании и легко тренируется. Aspen HYSYS зарекомендовала себя как очень интуитивный и простой в использовании имитатор процессов в нефтегазовой и нефтеперерабатывающей промышленности.

- Лучшие в своем классе методы и данные физических свойств: Aspen HYSYS предлагает комплексную термодинамическую основу для точного расчета физических свойств, транспортных свойств и поведения фаз для нефтегазовой и нефтеперерабатывающей промышленности.

- Программа обеспечивает современную сеть трубопроводов и возможности анализа перепада давления как в стационарном, так и в временном потоке. Aspen HYSYS Upstream™ обеспечивает промышленность E

& P стандартными методами и методами обработки нефтяных флюидов и объединяет дисциплины нефти и технологии производства. Кроме того, AspenTech поддерживает ссылки на технологию сторонних производителей и технологию моделей скважин от SPT, Schlumberger и Petroleum Experts, соответственно.

– Эффективный рабочий процесс для проектирования процесса, размеров оборудования и предварительной оценки затрат в рамках одной среды путем интеграции с другими инструментами.

### 3 Расчет и аналитика

#### 3.1 Проектирование работы установки производства гелия в программной среде Aspen HYSYS

Проектирование работы установки производства гелия низкотемпературным способом в программной среде Aspen HYSYS состояло из следующих этапов:

1. Создание списка компонентов на основе составов добытого газа на Ковыктинском и Чаяндинском месторождениях.

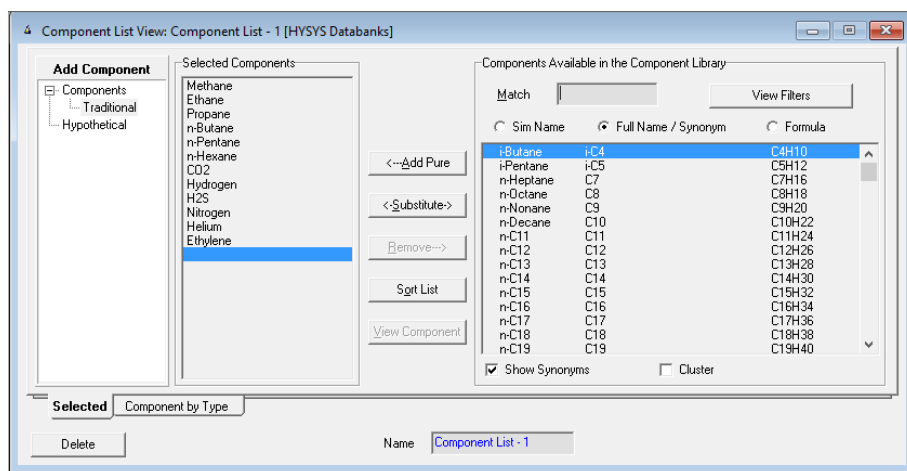


Рисунок 3.1 – Создание списка компонентов

2. Выбор пакета свойств Peng-Robinson, объединяющего всю информацию, необходимую для расчета фазового равновесия и физических свойств (рисунок 3.2).

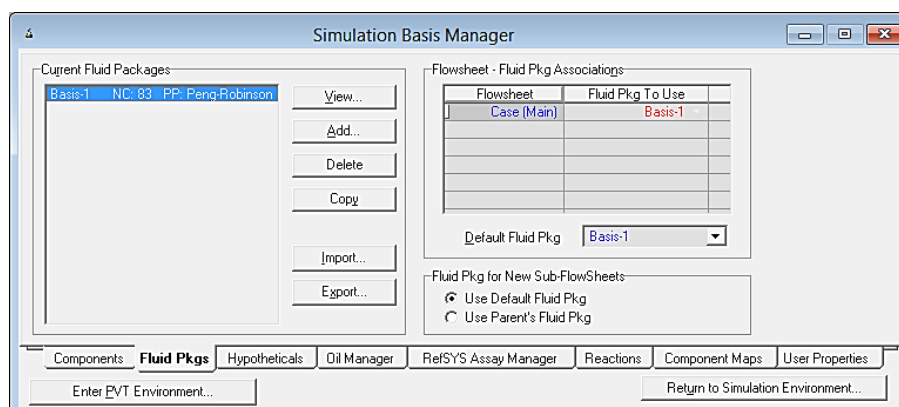


Рисунок 3.2 – Выбор пакета свойств Peng-Robinson

3. Создание материального потока в расчетной среде и задание таких свойств, как состав газа, объемный расход, температура и давление, для автоматического расчёта остальных характеристик газа (рисунок 3.3).

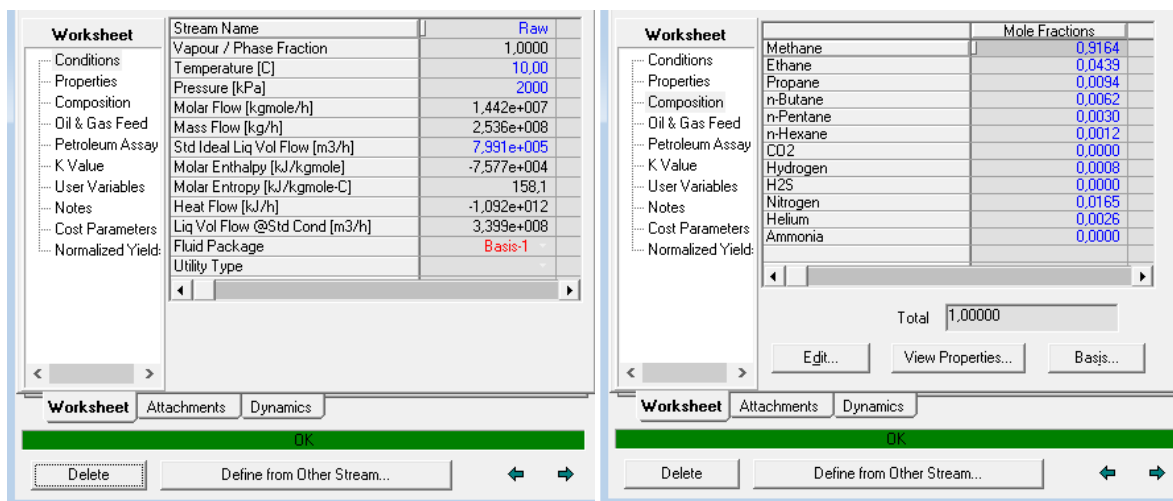


Рисунок 3.3 – Свойства материального потока (*Raw*)

4. Далее подобраны критерии для проектирования схем получения гелия низкотемпературным способом:

- Степень извлечения гелия – не менее 95 % мас. от максимального;
- Содержание гелия в концентрате – не менее 65 % об.;
- Использовать рекуперацию тепла (холода), либо для низкотемпературных теплообменников проектировать внешний холодильный цикл и подбирать хладагент;
- Максимально использовать выходные потоки для охлаждения входных потоков.

5. Проектирование схем (в зависимости от способа охлаждения азотно-гелиевой смеси):

1. Охлаждение смеси в турбодетандере;
2. Охлаждение смеси в теплообменнике (использование внешнего холодильного цикла);
3. Охлаждение в каскаде дросселирующих устройств.

6. Анализ схем с помощью варьирования параметров. Сравнение схем по комплексу параметров:

- Степень извлечения гелия, метана, азота, этан-бутановой фракции;
- Содержание гелия в концентрате;
- Энергетический баланс;
- Теплота сгорания сухого газа.



### 3.2 Проектирование схемы с охлаждением смеси в турбодетандере

Спроектирована установка получения гелия низкотемпературным способом с охлаждением азотно-гелиевой смеси в турбодетандере (рисунок 3.4).

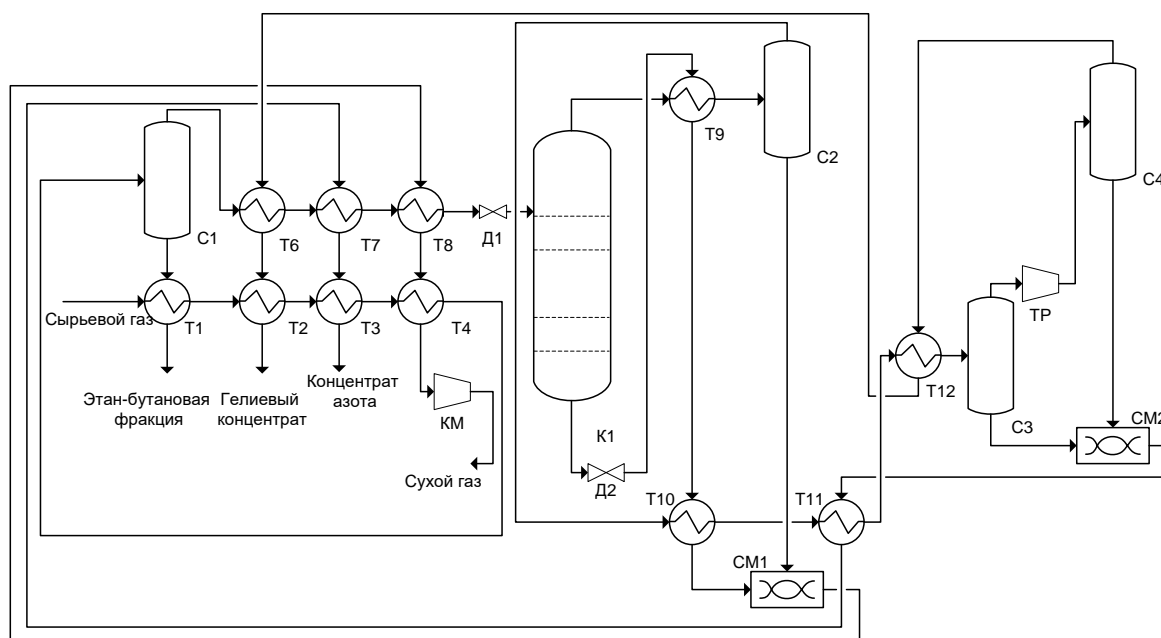


Рисунок 3.4 – Схема получения гелия (Вариант 1): Т – рекуперативные теплообменники, С – сепараторы, Д – дросселирующие устройства, К – колонны, ТР – турбодетандер, КМ – компрессор, СМ – смеситель.

Очищенный и осушенный газ охлаждается предварительно пропаном. Сырьевой газ с температурой  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и под давлением 4,0 МПа охлаждается последовательно в рекуперативных теплообменниках (с промежуточной сепарацией) до  $-104\text{ }^{\circ}\text{C}$  и после дросселирования с температурой  $-120,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  подается в колонну. С низа этой колонны отводится в основном метан, а сверху отводится смесь гелия и азота. Метан дросселируется до  $-160,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  и охлаждает смесь гелия и азота. Смесь гелия и азота поступает в сепаратор, где разделяются остатки метана и смесь гелия, азота. Далее смесь доохлаждается в рекуперативных теплообменниках, где хладагентами служат продуктовые потоки гелиевого концентрата и азота. Затем поступает в сепараторы для разделения на концентрат гелия и концентрат азота.

Таблица 3.1 – Характеристики продуктов

	Гелиевый концентрат	Концентрат азота	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
Температура, °С	-51,33	-82,04	123,1	-50
Избыточное давление, кПа	28,0	50,0	870,0	3650

Материальный баланс установки представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Материальный баланс

Приход		Расход	
Статья прихода	Массовый расход, кг/ч	Статья расхода	массовый расход, кг/ч
Природный газ	253 580 838	Этан-бутановая фракция	18 239 963
		Гелиевый концентрат	377 188
		Концентрат азота	5 949 191
		Сухой газ	229 014 497
<b>Итого</b>	<b>253 580 838</b>		<b>253 580 838</b>

Таблица 3.3 – Состав потоков (1-1 Вариант)

Компоненты	Потоки, м <sup>3</sup> /ч				
	Природный газ	Гелиевый концентрат	Азот	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
метан	707 875,0	0,1	1 384,0	693 745,3	12 745,7
этан	53 501,4	0	0	45 479,4	8 022,0
пропан	11 793,3	0	0	6 188,4	5 604,9
бутан	8 907,3	0	0	1 618,2	7 289,1
пентан	4 955,0	0	0	227,6	4 727,4
гексан	2 249,7	0	0	25,0	2 224,7
водород	332,8	293,2	38,5	0,7	0,4
азот	8 263,0	185,4	6 931,8	1 110,8	35,0
гелий	1 209,3	1 139,6	66,9	1,1	1,7
<b>Итого</b>	<b>799 086,8</b>	<b>1 618,3</b>	<b>8 421,1</b>	<b>748 396,4</b>	<b>40 650,9</b>

Содержание гелия в концентрате 69,50 % об.. На основании таблицы 3.3 рассчитана степень извлечения отдельных веществ в целевые потоки, а именно: гелия – в гелиевый концентрат; азота – концентрат азота; метана – в сухой газ.

Таблица 3.4 – Степень извлечения продуктов из природного газа, % мас.

Гелиевый концентрат, %	Концентрат азота, %	Сухой газ, %
94,23	83,89	98,00

Таблица 3.5 – Энергетические потоки схемы

Энергетический поток, МДж/ч				Сумма Q, МДж/ч
Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	
27 099,0	-27 099,0	-100 662,0	61,6	-100 600,0

Энергетический поток Q<sub>2</sub> поступает в ребойлер, а Q<sub>1</sub> выделяется из конденсатора. Энергетический поток Q<sub>4</sub> выделяется из турбодетандера при расширении газа. Энергетический поток Q<sub>3</sub> поступает в компрессор.

Теплоты сгорания сухого газа рассчитаны по ГОСТ 22667-82 «Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе».

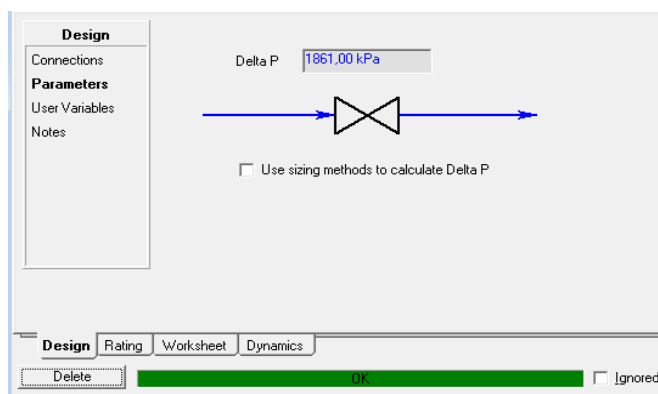
Таблица 3.6 – Высшая и низшая теплота сгорания [20]

Наименование компонента	Формула	Теплота сгорания	
		высшая	низшая
		МДж/м <sup>3</sup>	МДж/м <sup>3</sup>
Метан	CH <sub>4</sub>	39,82	35,88
Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	70,31	64,36
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	101,21	93,18
н-бутан	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	133,8	123,57
Пентаны	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	169,27	156,63
Гексаны	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	187,4	173,17
Водород	H <sub>2</sub>	12,75	10,79

$$Q_H = 35,88 \cdot 0,91 + 64,36 \cdot 0,07 + 93,18 \cdot 0,01 = 38,98 \text{ МДж/м}^3$$

$$Q_B = 39,82 \cdot 0,91 + 70,31 \cdot 0,07 + 101,21 \cdot 0,01 = 43,14 \text{ МДж/м}^3$$

Анализируя литературный обзор и варьируя различные параметры в схеме, выявлено, что лучший способ для сравнения схем это изменение перепада давлений в дросселирующих устройствах или турбодетандерах. В дросселирующем устройстве Д1 перепад давления, понизим с 2061 до 1861 кПа, а в турбодетандере ТР повысим с 950 до 1150 кПа.



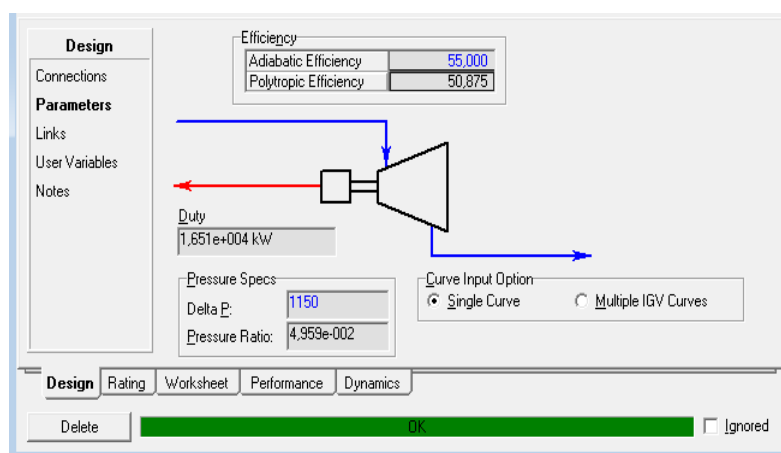


Рисунок 3.5 – Параметры дросселирующего устройства и турбодетандера

Таблица 3.7 – Состав потоков (1-2 вариант)

Компоненты	Потоки, м <sup>3</sup> /ч			
	Гелиевый концентрат	Концентрат азота	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
метан	0,3	224,2	694 904,7	12 745,7
этан	0	0	45 479,4	8 022,0
пропан	0	0	6 188,4	5 604,9
бутан	0	0	1 618,2	7 289,1
пентан	0	0	227,6	4 727,4
гексан	0	0	25,0	2 224,7
водород	307,9	17,9	6,6	0,4
азот	546,5	2 714,2	4 967,4	35,0
гелий	1 157,6	36,9	13,1	1,7
<b>Итого</b>	<b>2 012,3</b>	<b>2 993,2</b>	<b>753 430,4</b>	<b>40 650,9</b>

Третий вариант для сравнения, теперь только в турбодетандере повысим перепад давления с 950 кПа до 1050 кПа.

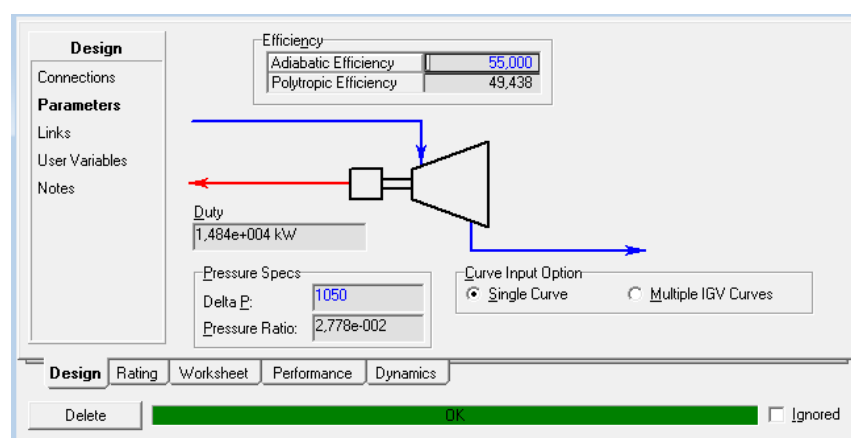


Рисунок 3.6 – Параметры турбодетандера

Таблица 3.8 – Состав потоков (1-3 вариант)

Компоненты	Потоки, м <sup>3</sup> /ч			
	Гелиевый концентрат	Концентрат азота	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
метан	0,1	1 383,9	693 745,3	12 745,7
этан	0	0	45 479,4	8 022,0
пропан	0	0	6 188,4	5 604,9
бутан	0	0	1 618,2	7 289,1
пентан	0	0	227,6	4 727,4
гексан	0	0	25,0	2 224,7
водород	291,5	40,2	0,7	0,4
азот	232,4	6 884,9	1 110,8	35,0
гелий	1 136,3	70,1	1,1	1,7
<b>Итого</b>	<b>1 660,3</b>	<b>8 379,1</b>	<b>748 396,4</b>	<b>40 650,9</b>

Анализ 3 вариантов схем по следующим критериям:

1. Степень извлечения гелия, метана, азота, этан-бутановой фракции;
2. Содержание гелия в концентрате;
3. Энергетический баланс;
4. Тепловой поток сгорания сухого газа.

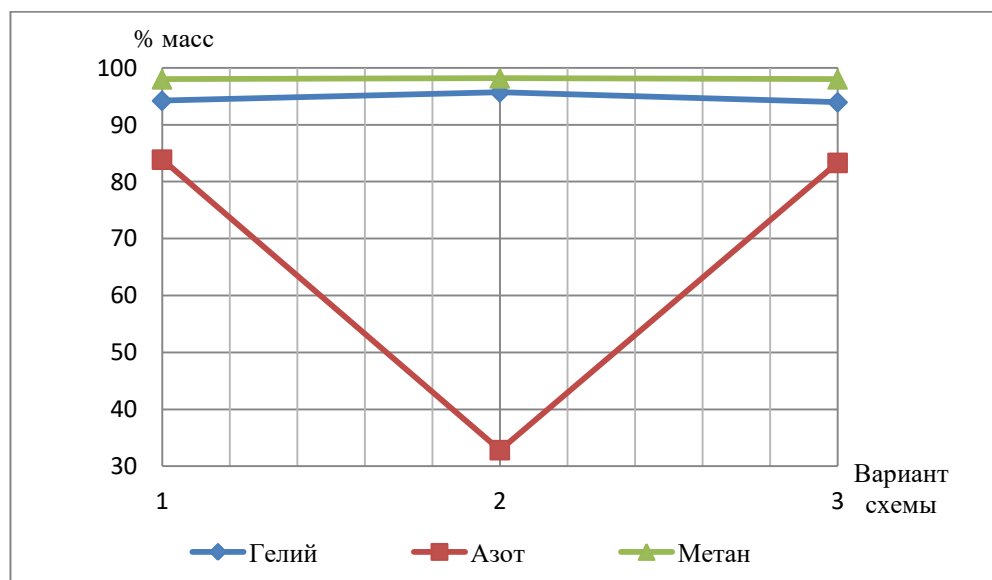


Рисунок 3.7 – График степени извлечения продуктов в зависимости от варианта схемы

Как видно из графика, степень извлечения азота по варианту 2 низкая. Для анализа других продуктов исключим из графика степень извлечения азота.

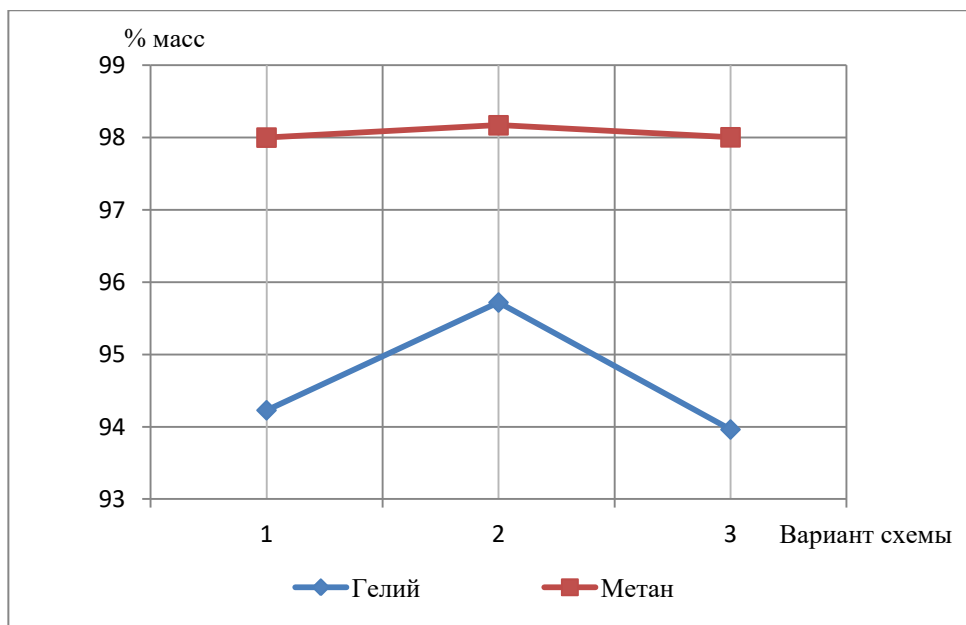


Рисунок 3.8 – Степени извлечения продуктов

Из графика следует то, что по степени извлечения гелия и метана 2 вариант лучше других, но степень извлечения азота низкая по 2 варианту. По 1 варианту схемы степень извлечения гелия и азота больше, чем у 3 варианта.

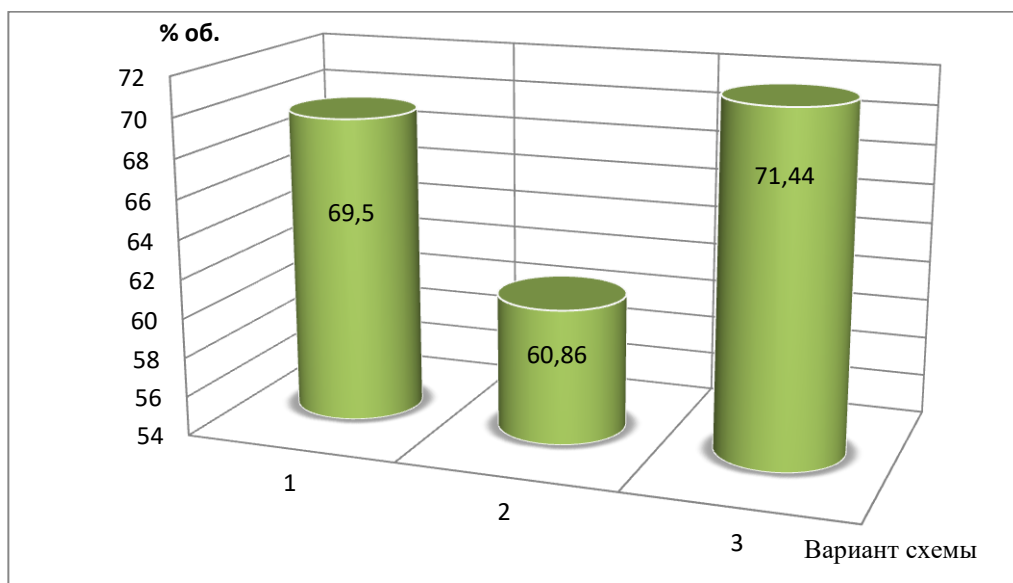


Рисунок 3.9 – Содержание гелия (% об.)

Из гистограммы можем сделать вывод, что 2 вариант не удовлетворяет требованиям. Содержание гелия в концентрате должно быть не менее 65 %. В третьем варианте выход гелия больше, чем в первом.

Таблица 3.9 – Основные параметры схем

	Содержание гелия в концентрате % об.	Степень извлечения, %			Производительность по гелиевому концентрату, м <sup>3</sup> /ч	Высшая теплота сгорания сухого газа, МДж/м <sup>3</sup>	Баланс энергии МДж/ч	Потенциальный тепловой поток от сжигания сухого газа, МДж/ч"	Средняя затраченная энергия на 1 кг гелия кДж/кг
		He	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>					
1	69,5	94,2	83,9	98,0	1 618,3	43,1	-100600	69 813,5	-267
2	60,9	95,7	32,9	98,2	2 012,3	42,6	-177600	85 623,4	-346
3	71,4	94,0	83,3	98,0	1 660,3	43,1	-101000	71 625,3	-290

Теплота сгорания сухого газа частично компенсирует затраченную энергию. Сравнивая затраченную энергию и полученную теплоту от сухого газа, делаем вывод, что 3 вариант схемы затрачивает меньше энергии.

В результате сравнения схем составлена сравнительная оценка характеристик.

Таблица 3.10 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии оценки	Весовой коэффициент параметра	1-1 вар-т	$I_m^1$	1-2 вар-т	$I_m^2$	1-3 вар-т	$I_m^3$
Степень извлечения гелия	0,3	4	1,2	5	1,5	3	0,9
Степень извлечения азота	0,025	5	0,125	2	0,05	4	0,1
Степень извлечения метана	0,025	4	0,1	5	0,125	4	0,1
Содержание гелия в концентрате	0,3	4	1,2	2	0,6	5	1,5
Затраты энергии тепловой и электрической	0,3	5	1,5	3	0,9	4	1,2
Теплота сгорания сухого газа	0,05	3	0,25	5	0,15	4	0,2
Итого	<b>1</b>		<b>4,28</b>		<b>3,43</b>		<b>4</b>

Каждый критерий оценивается в весовом эквиваленте, чтобы в сумме весовой коэффициент был равен единице. Далее каждый вариант схемы оценивается по пятибалльной шкале. По результатам сравнительной оценки характеристик у схемы 1-1 высокий интегральный показатель.

### 3.3 Проектирование схемы с охлаждением смеси в теплообменнике

Спроектирована установка получения гелия низкотемпературным способом с внешним холодильным циклом (рисунок 3.11).

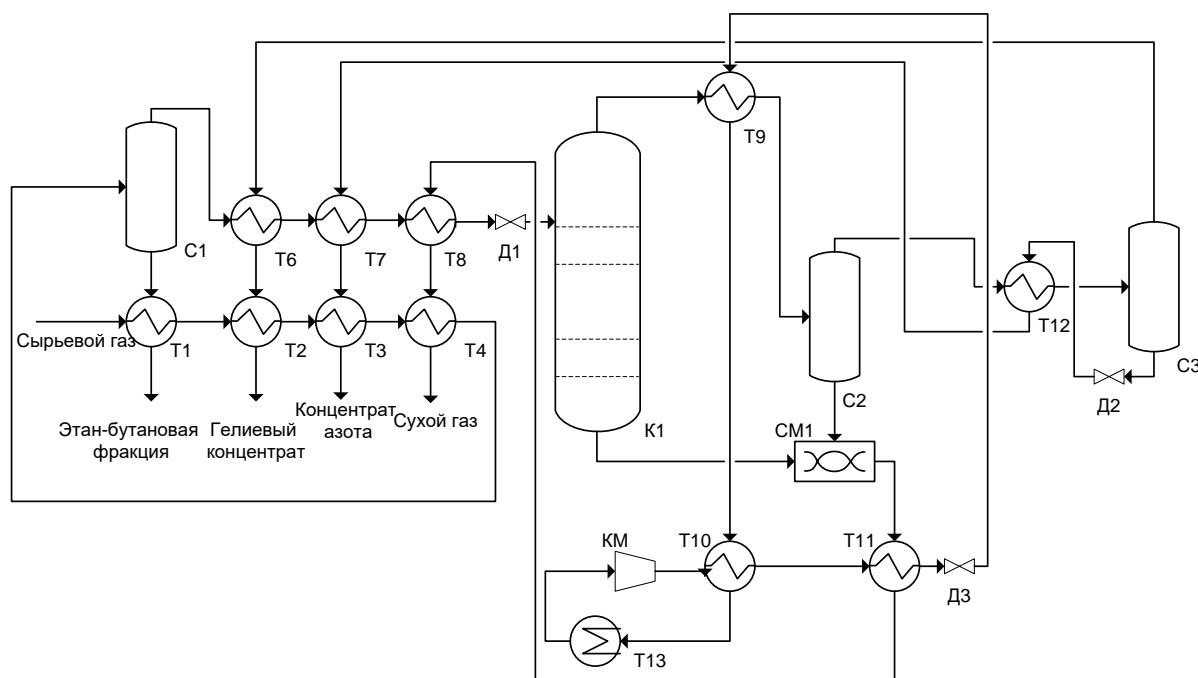


Рисунок 3.11 – Схема получения гелия (2 вариант): Т – рекуперативные теплообменники, С – сепараторы, Д – дросселирующие устройства, К – колонна, КМ– компрессор, СМ – смеситель.

Очищенный и осушенный газ охлаждается предварительно пропаном. Сырьевой газ с температурой  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и под давлением 4,0 МПа охлаждается последовательно в рекуперативных теплообменниках (с промежуточной сепарацией) до  $-95\text{ }^{\circ}\text{C}$  и после охлаждения газа в турбодетандере с температурой  $-107\text{ }^{\circ}\text{C}$  подается в колонну. С низа этой колонны отводится в основном метан, а сверху отводится смесь гелия и азота. Смесь гелия и азота поступает в сепаратор, где разделяются остатки метана и смесь гелия, азота. Эта смесь затем доохлаждается внешним холодильным циклом и потоком концентрата азота. Затем поступает в сепаратор для разделения на концентрат гелия и концентрат азота. Таким образом отличие этой схемы от первой, в том, что здесь используется внешний холодильный цикл и нет турбодетандера.



Таблица 3.11 – Характеристики продуктов

	Гелиевый концентрат	Концентрат азота	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
Температура, °С	-102,3	-83,11	-59,36	-40
Избыточное давление, кПа	1940	30	1340	3690

Материальный баланс установки получения гелия низкотемпературным способом представлен в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Материальный баланс

Приход		Расход	
Статья прихода	Массовый расход, кг/ч	Статья расхода	Массовый расход, кг/ч
Природный газ	253 580 838	Этан-бутановая фракция	18 662 829
		Гелиевый концентрат	348 568
		Концентрат азота	6 484 498
		Сухой газ	228 084 943
<b>Итого</b>	<b>253 580 838</b>		<b>253 580 838</b>

Таблица 3.13 – Состав потоков (2-1 вариант)

Компоненты	Потоки, м <sup>3</sup> /ч				
	Природный газ	Гелиевый концентрат	Концентрат азота	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
метан	707 875,0	0,2	90,0	694 324,5	13 460,3
этан	53 501,4	0,0	0,0	45 153,8	8 347,6
пропан	11 793,3	0,0	0,0	6 068,5	5 724,8
бутан	8 907,3	0,0	0,0	1 573,1	7 334,2
пентан	4 955,0	0,0	0,0	221,5	4 733,5
гексан	2 249,7	0,0	0,0	24,4	2 225,2
водород	332,8	234,5	97,9	0,0	0,5
азот	8 263,0	260,5	7 965,2	0,0	37,3
гелий	1 209,3	983,7	223,8	0,0	1,8
<b>Итого</b>	<b>799 086,8</b>	<b>1 478,9</b>	<b>8 376,9</b>	<b>747 365,8</b>	<b>41 865,2</b>

Содержание гелия в концентрате 66,11 % об.

Таблица 3.14 – Степень извлечения продуктов из природного газа, % мас.

Гелия – в гелиевый концентрат, %	Азота – в концентрат азота, %	Метана – в сухой газ, %
81,34	96,40	98,09

Таблица 3.15 – Энергетические потоки схемы

Энергетический поток, МДж/ч			Сумма Q, МДж/ч
$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	
39 833 219	-39 833 219	-203 160	-203 160

Энергетический поток  $Q_2$  поступает ребойлер, а  $Q_1$  выделяется из конденсатора. Энергетический поток  $Q_3$  поступает в компрессор.

$$Q_H = 35,88 \cdot 0,91 + 64,36 \cdot 0,07 + 93,18 \cdot 0,01 = 39,08 \text{ МДж/м}^3$$

$$Q_B = 39,82 \cdot 0,91 + 70,31 \cdot 0,07 + 101,21 \cdot 0,01 = 43,26 \text{ МДж/м}^3$$

Для сравнения, в дросселирующем устройстве Д1 перепад давления понизим с 1500 до 1300 кПа, а в дросселирующем устройстве Д2 повысим с 1900 до 2100 кПа.

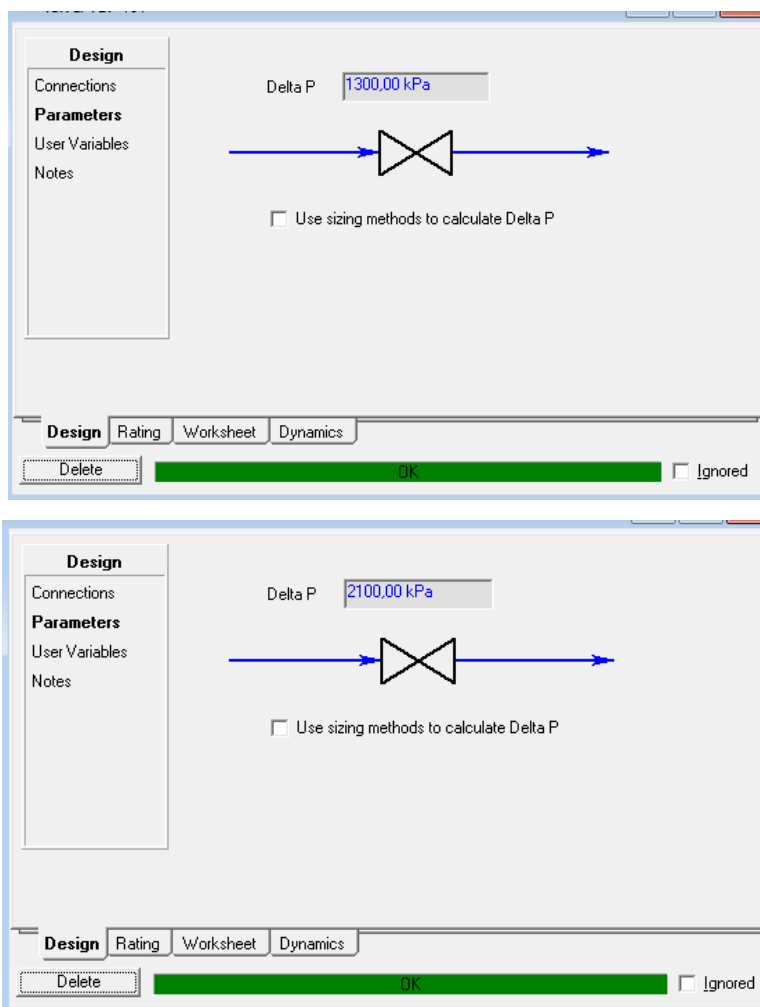


Рисунок 3.12 – Параметры дросселирующих устройств

Таблица 3.16 – Состав потоков (2-2 вариант)

Состав потоков	Потоки, м <sup>3</sup> /ч			
	Гелиевый концентрат	Азот	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
метан	0,0	0,2	698 545,6	9 329,3
этан	0,0	0,0	47 600,8	5 900,6
пропан	0,0	0,0	7 280,3	4 513,0
бутан	0,0	0,0	2 222,6	6 684,7
пентан	0,0	0,0	341,0	4 613,9
гексан	0,0	0,0	39,0	2 210,6
водород	240,2	92,3	0,0	0,3
азот	223,3	6 564,7	1 449,4	25,7
гелий	999,8	208,0	0,0	1,5
<b>Итого</b>	<b>1 463,3</b>	<b>6 865,2</b>	<b>757 478,7</b>	<b>33 279,6</b>

Третий вариант для сравнения, только в дросселирующем устройстве Д2 повысим перепад давления с 1900 кПа до 1950 кПа.

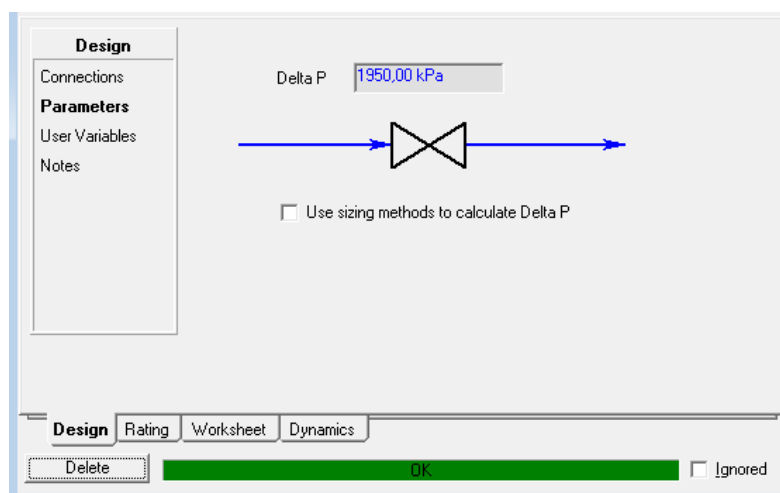


Рисунок 3.13 – Параметры турбодетандера

Таблица 3.17 – Состав потоков (2-3 вариант)

Компоненты	Потоки, м <sup>3</sup> /ч			
	Гелиевый концентрат	Концентрат азота	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
метан	0,3	89,9	694 324,5	13 460,3
этан	0,0	0,0	45 153,8	8 347,6
пропан	0,0	0,0	6 068,5	5 724,8
бутан	0,0	0,0	1 573,1	7 334,2
пентан	0,0	0,0	221,5	4 733,5
гексан	0,0	0,0	24,4	2 225,2
водород	233,1	99,3	0,0	0,5
азот	310,1	7 915,7	0,0	37,3
гелий	972,8	234,7	0,0	1,8
<b>Итого</b>	<b>1 516,3</b>	<b>8 339,5</b>	<b>747 365,8</b>	<b>41 865,2</b>

Сравнение трех вариантов схем по различным параметрам приведено ниже.

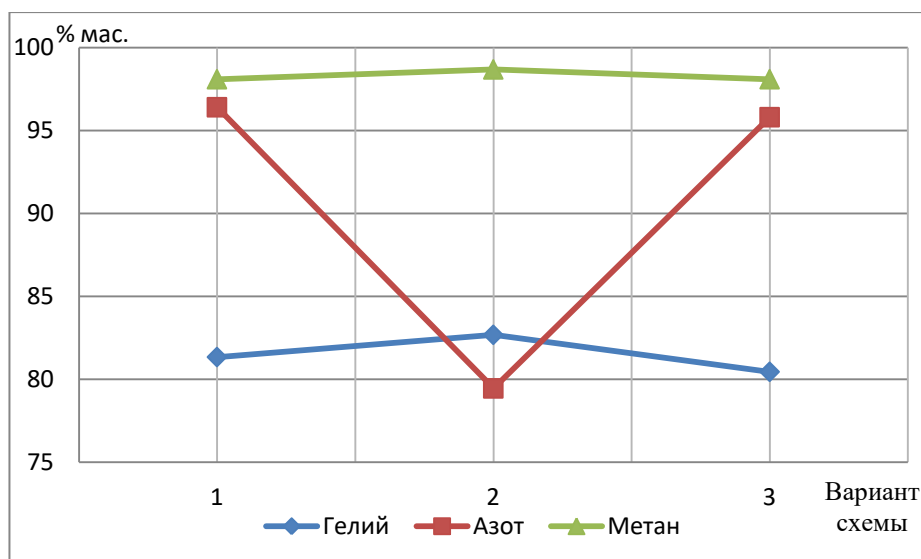


Рисунок 3.14 – График степени извлечения продуктов в зависимости от варианта схемы

Из графика следует то, что по степени извлечения гелия и метана 2 вариант лучше других. Но степень извлечения азота низкая по 2 варианту. По 1 варианту схемы степень извлечения гелия и азота больше, чем у 3 варианта.

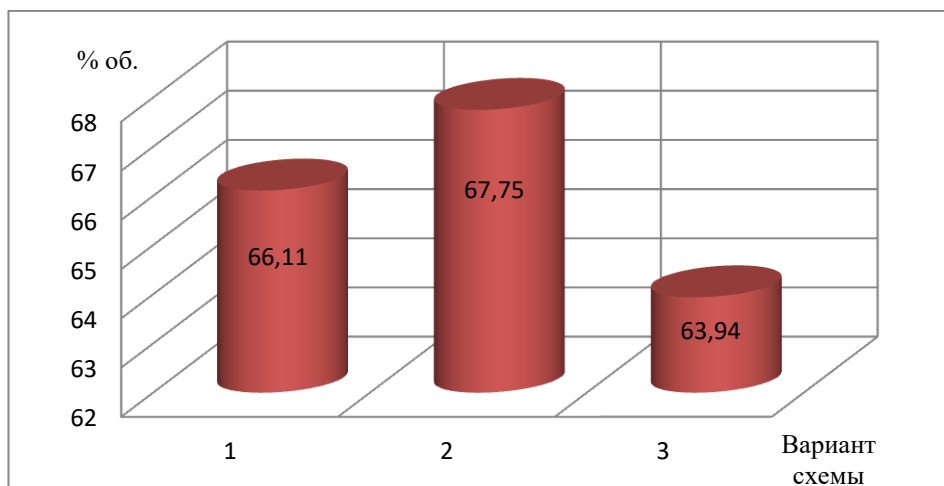


Рисунок 3.15 – Содержание гелия (% об.)

Из гистограммы можем сделать вывод, что 3 вариант не удовлетворяет требованиям. Содержание гелия в концентрате должно быть не менее 65 %. Во втором варианте больше выход гелия, чем в первом.

Таблица 3.18 – Основные параметры схем

	Содержание гелия в концентрате % об.	Степень извлечения, %			Производительность по гелиевому концентрату, м <sup>3</sup> /ч	Высшая теплота сгорания сухого газа, МДж/м <sup>3</sup>	Баланс энергии, МДж/ч	Потенциальный тепловой поток от сжигания сухого газа, МДж/ч"	Средняя затраченная энергия на 1 кг гелия кДж/кг
		He	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>					
1	66,11	81,3	96,4	98,1	1478,9	43,26	-203 160	63 977,2	-583
2	67,75	82,7	79,5	98,7	1463,3	43,47	-203 160	63 609,7	-633
3	63,94	80,5	95,8	98,1	1516,3	43,26	-203 160	65 595,1	-525

В результате сравнения схем по нескольким критериям составлена сравнительная оценка характеристик.

Таблица 3.19 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии оценки	Весовой коэффициент параметра	2-1 вар-т	$I_m^1$	2-2 вар-т	$I_m^2$	2-3 вар-т	$I_m^3$
Степень извлечения гелия	0,3	3	0,9	4	1,2	2	0,6
Степень извлечения азота	0,025	5	0,125	3	0,075	4	0,1
Степень извлечения метана	0,025	4	0,1	5	0,125	4	0,1
Содержание гелия в концентрате	0,3	4	1,2	5	1,5	2	0,6
Затраты энергии тепловой и электрической	0,3	4	1,5	3	1,5	5	1,5
Теплота сгорания метана	0,05	4	0,2	3	0,15	5	0,25
<b>Итого</b>	<b>1</b>		<b>3,73</b>		<b>3,95</b>		<b>3,15</b>

По результатам сравнительной оценки характеристик 2-2 вариант набрал 4,55 баллов, больше чем у вариантов 2-1 и 2-3.

### 3.4 Проектирование схемы с охлаждением в каскаде дросселирующих устройств

Спроектирована установка получения гелия низкотемпературным способом с охлаждением в каскаде дросселирующих устройств (рисунок 3.16).

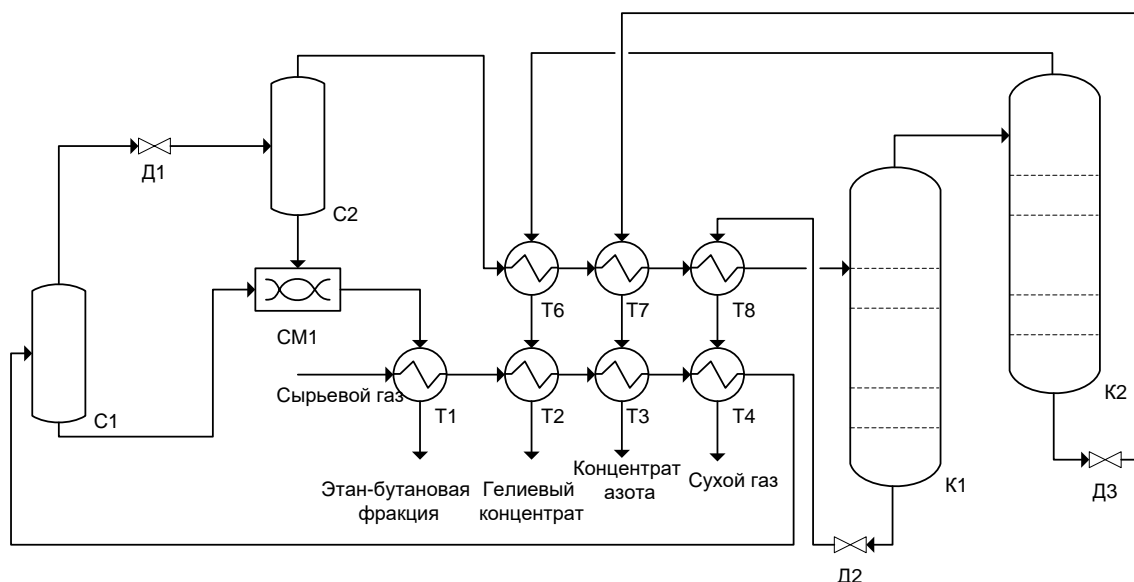


Рисунок 3.16 – Схема получения гелия: Т – рекуперативные теплообменники, С – сепараторы, Д – дросселирующие устройства, СМ – смесители, К – колонны.

Сырьевой газ под давлением 2,0 МПа охлаждается в рекуперативных теплообменниках до  $-28^{\circ}\text{C}$  и после сепарации охлаждается до  $-45^{\circ}\text{C}$ , затем дросселируется до 1,2 МПа и поступает в колонну. В ней от газа отделяется в основном метан с примесью азота, а сверху уходит газ с содержанием гелия. Этот газ еще раз конденсируется во второй колонне, с верха которой уходит гелиевый концентрат.

Таблица 3.20 – Характеристики продуктов

	Гелиевый концентрат	Концентрат азота	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
Температура, $^{\circ}\text{C}$	-10,64	-11,1	-120,9	0
Давление, кПа	780	950	1050	1600

Материальный баланс установки представлен в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Материальный баланс

Приход		Расход	
Статья прихода	Массовый расход, кг/ч	Статья расхода	Массовый расход, кг/ч
Природный газ	253 580 838	Этан-бутановая фракция	3 080 064
		Гелиевый концентрат	173 270
		Концентрат азота	6 685 353
		Сухой газ	243 642 151
<b>Итого</b>	<b>253 580 838</b>		<b>253 580 838</b>

Таблица 3.22 – Состав потоков (3-1 вариант)

Компоненты	Потоки, м <sup>3</sup> /ч				
	Природный газ	Гелиевый концентрат	Концентрат азота	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
метан	707 875,0	0	76,8	707 435,7	362,4
этан	53 501,4	0	0	53 248,7	252,7
пропан	11 793,3	0	0	11 515,3	278,1
бутан	8 907,3	0	0	7 949,3	958,0
пентан	4 955,0	0	0	3 177,3	1 777,6
гексан	2 249,7	0	0	647,2	1 602,4
водород	332,8	332,8	0	0	0
азот	8 263,0	0	8 262,1	0	0,9
гелий	1 209,3	1 209,2	0	0	0,1
<b>Итого</b>	<b>799 086,8</b>	<b>1 542,0</b>	<b>8 338,9</b>	<b>783 973,5</b>	<b>5 232,3</b>

Содержание гелия в концентрате 76,47 % об..

Таблица 3.23 – Степень извлечения продуктов из природного газа % мас.

Гелия – в гелиевый концентрат,%	Азота – в азотный концентрат,%	Метана – в сухой газ,%
99,99	99,99	99,94

Таблица 3.24 – Тепловые потоки схемы

Тепловой поток, МДж/ч				Сумма Q, МДж/ч
Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	
56 500 000	-56 500 000	123 886	-336 577	-212 691

Тепловой поток Q<sub>2</sub> поступает в ребойлер колонны К1, а Q<sub>1</sub> выделяется из конденсатора колонны К2. Тепловой поток Q<sub>3</sub> поступает в ребойлер колонны К2, а Q<sub>4</sub> выделяется из конденсатора колонны К2.

$$Q_{\text{н}} = 35,88 \cdot 0,87 + 64,36 \cdot 0,08 + 93,18 \cdot 0,02 + 123,57 \cdot 0,02 + 156,63 \cdot 0,01 = 42,06 \text{ МДж/м}^3$$

$$Q_{\text{в}} = 39,82 \cdot 0,87 + 70,31 \cdot 0,08 + 101,21 \cdot 0,02 + 133,8 \cdot 0,02 + 169,27 \cdot 0,01 = 46,77 \text{ МДж/м}^3$$

Для сравнения, в дросселирующем устройстве Д1 повысим перепад давления со 100 кПа до 600 кПа.

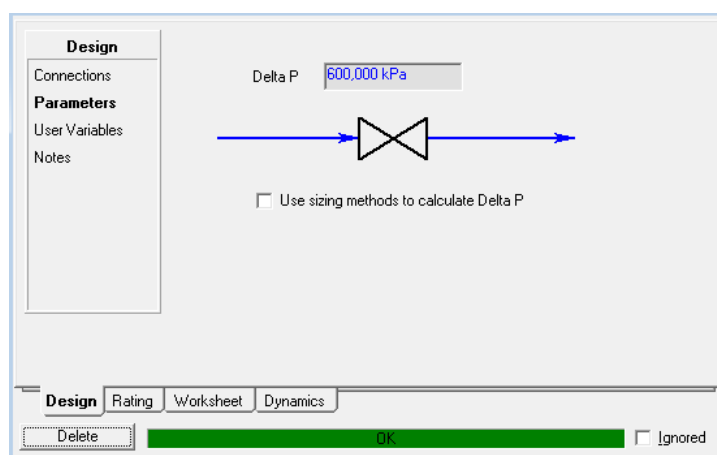


Рисунок 3.17 – параметры дросселирующего устройства

Таблица 3.25 – Состав потоков (3-2 вариант)

Компоненты	Потоки, м <sup>3</sup> /ч			
	Гелиевый концентрат	Концентрат азота	Сухой газ	Этан-бутановая фракция
метан	0	936,0	706 579,9	359,1
этан	0	0	53 251,0	250,4
пропан	0	0	11 517,8	275,5
бутан	0	0	7 958,0	949,3
пентан	0	0	3 193,3	1 761,7
гексан	0	0	661,1	1 588,6
водород	332,8	0	0	0
азот	0,0	8 262,1	0	0,9
гелий	1 209,2	0	0	0,1
<b>Итого</b>	<b>1 542,0</b>	<b>9 198,1</b>	<b>783 161,0</b>	<b>5 185,6</b>

Сравнение двух вариантов схем по критериям оценки.

Степень извлечения гелия и азота равны по двум вариантам, а степень извлечения метана больше в первом варианте.

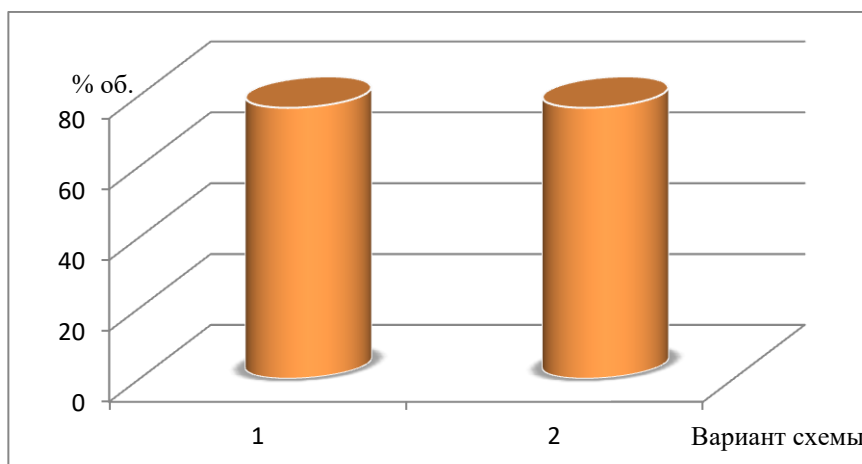


Рисунок 3.18 – Содержание гелия (% об.)



Содержание гелия одинаково в двух вариантах.

Таблица 3.26 – Основные параметры схем

	Содержание гелия в концентрате % об.	Степень извлечения, %			Производительность по гелиевому концентрату, м <sup>3</sup> /ч	Высшая теплота сгорания сухого газа, МДж/м <sup>3</sup>	Баланс энергии, МДж/ч	Потенциальный тепловой поток от сжигания сухого газа, МДж/ч"	Средняя затраченная энергия на 1 кг гелия, кДж/ч
		He	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>					
1	76,47	99,9	99,9	99,9	1542,0	46,77	-212 691	72119	-1228
2	76,47	99,9	99,9	99,8	1542,0	46,79	-212 691	72150	-1228

В результате сравнения схем по нескольким критериям составлена сравнительная оценка характеристик.

Таблица 3.27 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии оценки	Весовой коэффициент параметра	3-1 вар-т	$I_m^1$	3-2 вар-т	$I_m^2$
Степень извлечения гелия	0,3	5	1,5	5	1,5
Степень извлечения азота	0,025	5	0,125	5	0,125
Степень извлечения метана	0,025	5	0,125	4	0,1
Содержание гелия в концентрате	0,3	5	1,5	5	1,5
Затраты энергии тепловой и электрической	0,3	5	1,5	5	1,5
Теплота сгорания метана	0,05	4	0,2	5	0,25
<b>Итого</b>	<b>1</b>		<b>4,95</b>		<b>4,98</b>

По результатам сравнительной оценки характеристик 3-2 вариант схемы лучше удовлетворяют критериям оценки, чем 3-1 вариант схемы.

#### 4. Результаты проведенного исследования

Спроектированы три вида схем с охлаждением азотно-гелиевой смеси в турбодетандере (1 вариант), с охлаждением смеси в теплообменнике (2 вариант) и с охлаждением в каскаде дросселирующих устройств (3 вариант). Проведен анализ каждой схемы, путем варьирования перепада давления в дросселирующих устройствах и турбодетандере, по критериям оценки.

Сравнили схемы по комплексу параметров:

- Степень извлечения гелия, метана, азота, этан-бутановой фракции;
- Содержание гелия в концентрате;
- Тепловой баланс;
- Теплота сгорания метана.

Определили интегральный показатель каждой схемы.

Таблица 4.1 – Интегральные показатели схем

Вариант схемы	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2
$I_m$	4,28	3,43	4,0	3,73	3,95	3,15	4,95	4,98

Из таблицы 4.1 делаем вывод, что самые эффективные технологические схемы получения гелия являются схемы с охлаждением в каскаде дросселирующих устройств. Также эффективной технологической схемой является схема с охлаждением в теплообменнике с перепадом в дросселирующем устройстве (Д2) 2100 кПа.

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 5.1 Предпроектный анализ

#### 5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. Для данного проекта целевым рынком являются предприятия газоперерабатывающей отрасли.

Продуктом (результат НИР) – Низкотемпературная установка производства гелия в среде Aspen HYSYS.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка услуг

Размер компании	Предлагаемый товар (услуга)		
	Оптимизация процесса получения гелия	Применение установки в среде Aspen HYSYS процесса получения гелия	Модернизация установки, применение рекуперативных теплообменников
Малые	+	-	-
Средние	+	+	-
Крупные	+	+	+

«+» - данный товар необходим и рационален, «-» - данный товар не требуется предприятию

Из приведенной карты сегментирования рынка (таблица 5.1) видно, что предлагаемые товары и услуги на предприятиях нефтяной отрасли не являются универсальными и наибольшая потребность в закупке данных товаров у предприятий крупных, с высокой производительностью.

#### 5.1.2 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных

связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- Выявление причин возникновения проблемы;
- Анализ и структурирование процессов на предприятии;
- Оценка причинно-следственных связей.

Объектом анализа в проводимой исследовательской работе является низкий выход целевого продукта Не, получаемый низкотемпературным способом.

К факторам, влияющим на объект анализа, относятся:

- Оборудование;
- Сырье;
- Технология проведения работ;
- Персонал.

Причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Причинно-следственная диаграмма

### 5.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

В таблице 5.2 представлена оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации.

Таблица 5.2 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	1
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	3
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>45</b>	<b>45</b>

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (1)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

По результатам оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации можно сделать вывод о том, что перспективность проекта выше среднего. Необходимо провести оценку стоимости проекта и осуществить охрану их прав. Следует лучше проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок, а также проработать механизм реализации научного проекта. Повысить уровень знаний проекта в области коммерциализации.

#### **5.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Инжиниринг будет являться основным методом коммерциализации научной разработки. Так как мы ориентируемся на определенных потребителей. Инжиниринг в этом случае больше всего подходит, так как с помощью инжиниринга проектируем и разрабатываем с учетом потребностей клиента. Благодаря тесному сотрудничеству с клиентами мы можем уменьшить расходы и улучшить свои оригинальные разработки.

#### **5.2 Инициация проекта**

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

### 5.2.1 Цели и результат проекта

Таблица 5.3 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Амурский ГПЗ	Реализация проекта позволит снизить затраты ресурсов на получение гелия, обеспечить увеличение производительности установки
Национальный исследовательский Томский политехнический университет	Сотрудничество, развитие партнерских отношений для достижения общих экономических и стратегических целей

Таблица 5.4 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. При минимальных затратах, получить высокий выход продукта</li><li>2. Минимизировать отходы процесса</li><li>3. Увеличить уровень ресурсоэффективности</li></ol>
Ожидаемые результаты проекта:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Программа с высоким выходом целевого продукта</li><li>2. Программа с высокой оригинальностью</li><li>3. Варьируемые параметры в зависимости от потребностей клиента</li></ol>
Критерии приемки результата проекта:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Возможность адаптации моделирующей программы ГПЗ</li><li>2. Подтверждение расчетных данных в результате проектирования НТУ гелия</li></ol>
Требования к результату проекта:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Результаты должны быть качественно проанализированы и должны соответствовать запланированным целям и задачам</li></ol>
	<ol style="list-style-type: none"><li>2. Положительный результат проекта должен оформлен в виде интеллектуальной собственности</li></ol>

### 5.2.2 Организационная структура проекта

Необходимо определить группу данного проекта и роль каждого участника, их функции и трудозатраты. В качестве участников выступают руководитель с исполнителями и эксперты-консультанты по разделам проекта.



Таблица 5.5 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, час.
1	Юрьев Егор Михайлович, к.т.н., доцент отделения химической инженерии	Руководитель проекта	Координирует деятельность участников проекта	40
2	Криницына Зоя Васильевна, к.т.н., доцент отделения социально- гуманитарных наук	Эксперт проекта	Координирует деятельность магистранта при выполнении раздела «Финансовый менеджмент»	2
3	Король Ирина Степановна, к.х.н., доцент отделения контроля и диагностики	Эксперт проекта	Координирует деятельность магистранта при выполнении раздела «Социальная ответственность»	2
4	Сыскина Анна Александровна, к.ф.н., доцент отделения иностранных языков	Эксперт проекта	Оказание методической помощи при работе над переводом одной из глав магистерской диссертации на иностранный язык	2
5	Ешисамбуева Аягма Батожаргаловна, Магистрант	Исполнитель	Выполнение работ по проекту	576
ИТОГО:				622

### 5.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 5.6 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	112121,31
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	январь 2018 - июнь 2018
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	январь 2018
3.2.2. Дата завершения проекта	01.06.2018

### 5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическую структуру работ,
- контрольные события проекта,
- план проекта,
- бюджет научного исследования,
- организационную структуру проекта,
- сравнительную эффективность разработки.

#### 5.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



Рисунок 5.2 – Иерархическая структура работ проекта

### 5.3.2 Контрольные события проекта

Таблица 5.7 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Получение задания и составления плана работ	15.01.2018-27.01.2018	Отчет о плане работы
2	Изучение теоретических материалов	28.01.2018-15.02.2018	Отчет
3	Работа с литературой	15.02.2018-16.02.2018	Литературный обзор
4	Ознакомление с экспериментальными данными	17.02.2018-03.04.2018	Отчет
5	Обработка и обсуждение результатов	04.04.2018-13.04.2018	Отчет
6	Оформление проекта	14.04.2018-07.05.2018	Пояснительная записка
7	Разработка презентации и раздаточного материала	07.05.2018-31.05.2018	Презентация, раздаточный материал

### 5.3.3 План проекта

Таблица 5.8 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Получение задания и составления плана работ	12	15.01.18	27.01.18	Юрьев Е.М. Ешисамбуева А.Б.
2	Изучение теоретических материалов	18	28.01.18	15.02.18	Ешисамбуева А.Б.
3	Работа с литературой	28	15.02.18	16.03.18	Ешисамбуева А.Б.
4	Ознакомление с экспериментальными данными	18	17.03.18	03.04.18	Ешисамбуева А.Б.
5	Обработка и обсуждение результатов	10	04.04.18	13.04.18	Юрьев Е.М. Ешисамбуева А.Б.
6	Оформление проекта	25	14.04.18	07.05.18	Ешисамбуева А.Б.
7	Разработка презентации и раздаточного материала	24	07.05.18	31.05.18	Ешисамбуева А.Б.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

На основе табл. 8 построен календарный план-график (табл. 9) по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования.

Таблица 5.9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ											
			01.18		02.18		03.18		04.18		05.18			
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Получение задания и составления плана работ	Руководитель, Магистрант	12												
Изучение теоретических материалов	Магистрант	18												
Работа с литературой	Магистрант	28												
Ознакомление с экспериментальными данными	Магистрант	18												
Обработка и обсуждение результатов	Руководитель, Магистрант	10												
Оформление	Магистрант	25												
Разработка презентации и раздаточного материала	Магистрант	24												

■ – магистрант; ■ – руководитель

#### 5.4 Бюджет научного исследования

В процессе планирования бюджета научно-технического исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражения всех планируемых

расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты; Специальное оборудование для научных
- (экспериментальных) работ;
- Основная заработная плата исполнителей темы;
- Дополнительная заработная плата;
- Отчисления на социальные нужды;
- Научные и производственные командировки;
- Оплата работ, выполняемых сторонними предприятиями;
- Прочие прямые расходы;
- Накладные расходы.

#### **5.4.1 Расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты**

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3–5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье занесем в таблицу 5.10.

Таблица 5.10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование затрат	Единица измерений	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага	уп	1	239	239,0
Печать ч/б	шт	80,0	1,5	120,0
Печать ц/б	шт	20,0	10	200,0
Ручка шариковая	шт	2	43,2	86,4
Всего за материалы				645,4
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				32,27
Итого по статье $C_m$				677,67

#### 5.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 5.11. Амортизационные отчисления рассчитываются на 4 месяца, с учетом срока полезного использования оборудования 5 лет.

Таблица 5.11 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Мощность электроприбор, Вт	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Системный блок Dell Vostro	2	27990	240	55980
2	Монитор ASUS VZ249H	2	14590	25	29180
3	Компьютерная мышь Lenovo 500 Silver	2	1190	-	2380
4	Клавиатура Defender Oscar SM-660L	2	1190	-	2380
5	Доставка и монтаж оборудования	8	13488		
6	Амортизационные отчисления	4	5 лет – срок работы системного блока и монитора; Годовые амортизационные отчисления: $((55980 + (55980 \cdot 0,15))/5) + ((29180 + (29180 \cdot 0,15))/5)$ $= 19\,586$ руб.; Амортизация за 4 месяца: $19\,586/4 = 4897$ руб.		
	Итого:				9657

#### 5.4.3 Основная заработная плата исполнителей

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (2)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (3)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_r$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Таблица 5.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Консультант
Календарное число дней	151	151
Количество нерабочих дней выходные дни:	41	41
праздничные дни:	12	12
Потери рабочего времени отпуск:	12	12
невыходы по болезни:	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	86	86

$$Z_{дн(рук.)} = \frac{33664 \cdot 4,6}{86} = 1800,6 \text{ руб} \quad Z_{дн(конс.)} = \frac{33664 \cdot 4,6}{86} = 1800,6 \text{ руб}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_б \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (5)$$

где  $Z_б$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,15 (т.е. 15% от  $Z_6$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15 – 20 % от  $Z_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Расчёт основной заработной платы исполнителей

	Зб, руб.	$k_p$	Зм, руб.	Здн, руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, руб
Руководитель	33664	1,3	43763,2	1800,6	22	39613,2
Консультант	33664	1,3	43763,2	1800,6	1,5	2700,9
Итого						42314,1

#### 5.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 – 15 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (6)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{доп.}$  – коэффициент дополнительной зарплаты, примем 12,5 %.

Таблица 5.14 – Расчет основной и дополнительной заработной платы

Зарботная плата	Руководитель	Консультант
Основная зарплата	39613,2	2700,9
Дополнительная зарплата	4951,7	337,6
Зарплата исполнителя	44564,9	3038,5
Итого по статье С <sub>зп</sub>	47603,4	

#### 5.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (7)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.



Таблица 5.15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	39613,2	4951,7
Консультант	2700,9	337,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	
Отчисления, руб	11467,12	1433,4
Итого	12900,52	

#### 5.4.6 Научные и производственные командировки

При выполнении проекта не было расходов по научным и производственным командировкам, связанным с непосредственным выполнением данной работы.

#### 5.4.7 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями

В эту статью относится стоимость контрагентных работ. Кроме того, на эту статью расходов относят оплату консультаций, использование Internet и т.д.

Расходы на использование Internet составили 800 руб./месяц или 3200 рублей на период выполнения проекта.

#### 5.4.8 Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (8)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов (примем 80 %).

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 47603,4 = 38082,72 \text{ руб}$$

#### 5.4.9 Формирование бюджета затрат научно–исследовательского проекта

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составлена калькуляция плановой себестоимости проектирования низкотемпературной установки получения гелия (таблица 16).

Таблица 5.16 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Статьи									
	Сырье, материалы, руб.	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, руб.	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления на социальные нужды, руб.	Научные и производственные командировки, руб.	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями, руб.	Прочие прямые расходы, руб.	Накладные расходы, руб.	Итого плановая себестоимость, руб.
Проектирование низкотемпературной установки получения гелия	677,67	9657	42314,1	5289,3	12900,52	-	3200,00	-	38082,72	112121,31

#### 5.4.10 Организационная структура проекта

Для проводимого исследования характерна проектная организационная структура (рис. 3).

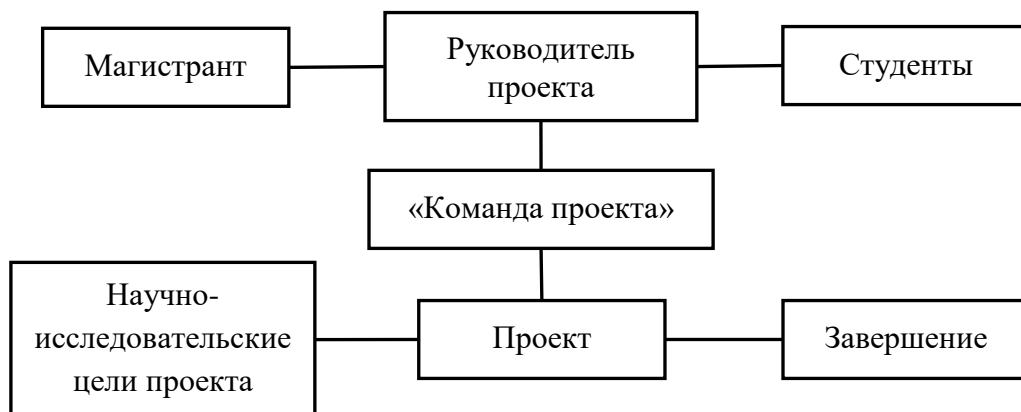


Рисунок 5.3 – Организационная структура проекта

#### 5.4.11 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица 5.17).

Таблица 5.17 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Юрьев Егор Михайлович, к.т.н., доцент отделения химической инженерии	Ешисамбуева Аягма Батожаргаловна, Магистрант
Получение задания и составления плана работ	О	
Изучение теоретических материалов		И
Работа с литературой		И
Ознакомление с экспериментальными данными		И
Обработка и обсуждение результатов	С	И
Оформление проекта	У	И
Разработка презентации и раздаточного материала		О

*Ответственный (О)*– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

*Исполнитель (И)* – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

*Утверждающее лицо (У)* – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

*Согласующее лицо (С)* – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

#### **5.4.12 План управления коммуникациями проекта**

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1	Задание и план работ	Руководитель проекта	Исполнителю	Не позже даты установленной по календарному плану
2	Литературный обзор	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
3	Программа в Aspen HYSYS	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже даты установленной по календарному плану
4	Отчет о выполненной работе	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

### **5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

#### **5.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более)

вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп. } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (9)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп. } i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Для нашей разработки:  $I_{\Phi}^p = \frac{120832,61}{134258,46} = 0,90$

Для первого аналога:  $I_{\Phi}^{a1} = \frac{134258,46}{134258,46} = 1,0$

Для второго аналога:  $I_{\Phi}^{a2} = \frac{108749,35}{134258,46} = 0,81$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (10)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 5.19).

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финр}}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p} ; I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a} \quad (11)$$

$$\text{Для нашей разработки: } I_{\text{финр}}^p = \frac{4,6}{0,9} = 5,0$$

$$\text{Для первого аналога: } I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{4,15}{1,0} = 4,15$$

$$\text{Для второго аналога: } I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{3,6}{0,81} = 4,44$$

Таблица 5.19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	$I_m^p$	Аналог 1	$I_m^{a1}$	Аналог 2	$I_m^{a2}$
1. Способствует увеличению производительности установки	0,15	5	0,75	4	0,6	4	0,6
2. Удобство в эксплуатации (интерфейс программы, легкость обучения персонала)	0,2	4	0,8	3	0,6	3	0,6
3. Стабильная работа программного обеспечения	0,1	5	0,5	4	0,4	4	0,4
4. Энергосбережение	0,25	5	1,25	4	1,0	4	1,0
5. Надежность	0,2	5	1,0	5	1,25	4	0,8
6. Материалоемкость	0,1	3	0,3	3	0,3	2	0,2
<b>ИТОГО</b>	<b>1</b>	<b>27</b>	<b>4,6</b>	<b>23</b>	<b>4,15</b>	<b>21</b>	<b>3,6</b>

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (12)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{финр}}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 5.20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог 2	Разработка	Аналог 1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,81	0,9	1,0
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,6	4,6	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	4,44	5,0	4,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	<b>1,13</b>		<b>1,21</b>

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

## **6. Социальная ответственность**

Трудовой кодекс РФ предусматривает обеспечение права каждого работника на справедливые условия труда, в том числе на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены, права на отдых, включая ограничение рабочего времени, предоставление ежедневного отдыха, выходных и нерабочих праздничных дней, оплачиваемого ежегодного отпуска [1].

Охрана труда и безопасность жизнедеятельности регулируется рядом нормативно-правовых, законодательных актов, в том числе согласно [2-4]. На государственном уровне контроль над безопасностью труда осуществляет Госэнергонадзор, Федеральная инспекция труда, Государственный архитектурно-строительный надзор, Государственный пожарный надзор, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, имеющие в субъектах РФ региональные службы и отделения.

Безопасность жизнедеятельности – это комплекс мероприятий организационно-технического характера, которые направлены на создание безопасных и комфортных условий труда на предприятии, позволяя снизить или исключить производственный травматизм. Для обеспечения комфортных условий труда поддерживается требуемая, качественная освещенность рабочих мест и производственных помещений, вентиляция, производится своевременное удаление пыли и отходов производства, поддерживается нормальная температура в помещениях. Лицом, ответственным за выполнение условий безопасности труда на предприятии, проводится инструктаж по правилам техники безопасности на предприятии в целом и при работе с конкретным оборудованием, а также обучение персонала и проверка знаний о правилах безопасности. Охрана труда на предприятии также включает в себя обеспечение персонала инструкциями по технике безопасности, оснащение рабочих мест плакатами и наглядными пособиями по работе с оборудованием и изображениями, визуализирующими наиболее опасные места на производстве и действия, предотвращающие производственный травматизм.



## **6.1 Производственная безопасность**

### **6.1.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов на рабочем месте**

В соответствии с [25] обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности является одним из национальных приоритетов в целях сохранения человеческого капитала и рассматриваются в неразрывной связи с решением задач по улучшению условий и охраны труда, промышленной и экологической безопасности.

Согласно [26] производится идентификация потенциально вредных и опасных производственных факторов на рабочем месте. Статья 13 данного закона гласит о вредных и опасных факторах производственной среды и трудового процесса, подлежащие исследованию (испытанию) и измерению при проведении специальной оценки условий труда.

Рабочее место для выполнения экспериментальной части магистерской диссертации представляет собой компьютерный класс корпуса Национального исследовательского Томского политехнического университета.

При работе на ПК, согласно [27], опасными и вредными производственными факторами являются:

- повышенная нагрузка на зрение, которая может привести к снижению остроты зрения и заболеваниям глаз;
- возможность поражения электрическим током;
- электромагнитное излучение монитора и клавиатуры;
- ультрафиолетовое излучение монитора;
- электростатический заряд на экране монитора;
- напряжение внимания и интеллектуальные нагрузки;
- длительная статическая нагрузка и монотонность труда.

Наличие химических опасных и вредных факторов в помещениях с ЭВМ в основном обусловлено широким применением полимерных и синтетических материалов для отделки интерьера, при изготовлении мебели, ковровых изделий, радиоэлектронных устройств и их компонентов, изолирующих элементов систем электропитания. Технология производства ЭВМ

предусматривает применение покрытий на основе лаков, красок, пластиков. При работе ЭВМ нагреваются, что способствуют увеличению концентрации в воздухе таких вредных веществ как формальдегид, фенол, полихлорированные бифенилы, аммиак, двуокись углерода, озон, хлористый винил.

Среди химических веществ, выделяющихся при работе оргтехники, наибольший вред приносят краски копировальных аппаратов и принтеров. Эти краски называются тонерами. Представляют они собой мелкодисперсную смесь, в состав которой входят композитные полимеры или уголь. Во время печати, копирования выделяются всевозможные (нередко токсичные) органические вещества.

Влияние вредных и опасных факторов приводит к ухудшению здоровья, появлению профессиональных заболеваний.

Электромагнитные излучения приводят к развитию функциональных расстройств (пагубное воздействие на нервную систему) и патологических состояний (головной боли, снижение работоспособности к концентрации внимания, снижение артериального давления, функциональные нарушения зрения, развитие катаракты, кожные заболевания). Электромагнитное излучение оказывает влияние на репродуктивные функции.

Дополнительными факторами риска для работающих за компьютером являются напряжение опорно-двигательной системы, это создает большую статическую нагрузку на позвоночник и некоторые группы мышц, а также приводит к нарушениям нормального кровообращения в конечностях и области таза.

Поскольку основным каналом получения информации от ПК является монитор, то неизбежно увеличивается нагрузка на зрительную систему.

Ведущими компонентами трудового процесса при работе на компьютере служат однообразные многократно повторяющиеся нагрузки на верхние конечности и постоянное зрительное напряжение, особенно при необходимости моторно-зрительной координации, а также нервно-эмоциональное напряжение, стрессы, связанные с ответственностью за решение выполняемых задач.

При поражении электрическим током различают два вида травм: местные - ожоги, электрические травмы, механические повреждения, общие - электрические удары. Электрические удары в зависимости от исхода делятся на 4 степени:

- 1 - судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- 2 - судорожное сокращение мышц с потерей сознания;
- 3 - нарушение сердечной деятельности или дыхания;
- 4 - отсутствие дыхания и кровообращения - клиническая смерть.

Общие требования к организации режима труда и отдыха при работе с ВДТ и ПЭВМ прописаны в [30].

Защита от электромагнитного излучения компьютера:

1. Приобретение жидкокристаллического монитора, поскольку его излучение значительно меньше, чем у ЭЛТ мониторов (монитор с электроннолучевой трубкой).
2. Расположение монитора и системного блока на максимальном расстоянии от человека.
3. Выключение компьютера при длительном неиспользовании.
4. Рекомендуемое расположение монитора в углу, так что бы излучение поглощалось стенами.
5. Желательны частые перерывы во время работы.

Для защиты от попадания высокого напряжения на корпус оборудования используется заземление - преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Средства защитного отключения обеспечивают автоматическое снятие напряжения питания с установки при выходе контролируемого параметра за допустимые пределы.

Согласно статье 5 [28] в помещении предусмотрена система пожаровзрывобезопасности.

## **6.2 Экологическая безопасность**

В данной работе в результате анализа не обнаружено:

- выбросов в атмосферу, сбросов в гидросферу и отходов в литосферу.
- выбросов в атмосферу;
- сбросов в гидросферу;
- отходов в литосферу.

## **6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Одним из важнейших факторов в безопасности жизнедеятельности людей является подготовленность к чрезвычайным ситуациям. Чрезвычайная ситуация – это совокупность таких обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями зданий, сооружений, материальных ценностей, поражения и гибелью людей.

Наиболее возможная чрезвычайная ситуация для данного объекта исследования – это пожары.

Элементы электронных систем в современных компьютерах размещены с довольно высокой плотностью. Расположение в непосредственной близости друг от друга соединительных проводов и коммуникационных кабелей также вызывает опасность. Электрический ток, протекающий по ним, выделяет значительное количество теплоты. В отдельных узлах она повышается 80-100 °С. Это значит, что в соединительных проводах может возникнуть процесс оплавления изоляции или их оголения. Следствием этого становится короткое замыкание, которое сопровождается искрением. А это - недопустимые перегрузки элементов электронных схем. Их перенагревание дает сгорание в виде разбрызгивающихся искр. Чтобы отвести избыточное тепло от компьютера используют системы кондиционирования и вентиляции воздуха. Однако этими системами обеспечивается подача кислорода, который способен быстро распространять огонь, поэтому подобные системы становятся дополнительной пожарной опасностью в машинных залах и других помещениях.

Питаются электроустановки посредством кабельных линий, являющихся особо пожароопасными. Изоляционный материал - горюч. Электрические искры и дуги могут превратиться в источники зажигания. Из-за своей разветвленности и труднодоступности кабельные линии становятся местами наиболее вероятного возникновения и развития пожара.

Пожарная безопасность при работе с компьютером предусматривает осторожность при обслуживающих, ремонтных и профилактических работах, так как во время таких работ использование различных смазочных материалов, легковоспламеняющихся жидкостей, прокладок, временных электропроводок крайне опасно, как и проведение пайки и чистки отдельных узлов и деталей. Избежать дополнительной пожарной опасности поможет соблюдение соответствующих мер пожарной профилактики. Прокладка всех видов кабелей в металлических газонаполненных трубах – отличный вариант для предотвращения возгорания. Если это машинные залы, то прокладка кабельных линий осуществляется под технологическими съемными полами, материалом для которых становятся негорючие или слабогорючие материалы. Предел их огнестойкости должен быть не менее 0,5 ч.

В вычислительных центрах установка пожарных кранов в коридорах, на площадках лестничных клеток и у входов способствует защите помещений от нежелательного возгорания. Потушить пожар можно также с помощью ручных углекислотных огнетушителей, установленных в помещениях из расчета один огнетушитель на 40-50 м<sup>2</sup>.

#### **6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Настоящий стандарт [26] распространяется на правила оформления индикаторов и органов управления на машинах. Настоящий стандарт устанавливает общие принципы взаимодействия оператора с индикаторами и органами управления с целью снижения его ошибок до минимума и обеспечения эффективного взаимодействия между человеком и машиной. Соблюдение принципов особенно важно в тех случаях, когда ошибка оператора может привести к травмам или нарушению здоровья человека.

Главный принцип построения систем "человек-машина" состоит в том, что машина и относящиеся к ней элементы (индикаторы, органы управления, надписи и т.д.) должны соответствовать оператору и поставленной задаче. Для реализации этого общего принципа машинная система должна иметь конфигурацию, учитывающую физические, психологические возможности и социальные аспекты. В следующих разделах изложены эргономические принципы, которые должны учитываться при проектировании системы "человек-машина". Содержатся также рекомендации в отношении процедур, которые могут использоваться для определения этих принципов. Следует обратить внимание, что этот обзор не является всеобъемлющим, но содержит полезные практические рекомендации, которые должны учитываться.

Стандарт [29] содержит дополнительную информацию о принципах, которые должны учитываться в программном обеспечении.

### **Выводы и рекомендации по разделу**

Проанализировав условия труда на рабочем месте, где была разработана магистерская диссертация, можно сделать вывод, что компьютерный класс удовлетворяет необходимым нормам и в случае соблюдения техники безопасности и правил пользования компьютером работа в данном помещении не приведет к ухудшению здоровья работника.

Само помещение и рабочее место в нем удовлетворяет всем нормативным требованиям. Кроме того, действие вредных и опасных факторов сведено к минимуму, т.е. электромагнитные поля, электробезопасность и пожаробезопасность соответствуют требованиям, предъявленным в соответствующих нормативных документах.

Относительно вопроса об экологической безопасности можно сказать, что деятельность в помещении не представляет опасности окружающей среде.

Во избежание негативного влияния на здоровье необходимо делать перерывы при работе с ЭВМ и проводить специальные комплексы упражнений для глаз.

## Заключение

В рамках данной работы рассмотрен процесс получения гелия низкотемпературным способом. Подробно разобраны свойства гелия, месторождения природного газа с повышенным содержанием гелия, его запасы в России и в мире, а также способы извлечения гелия.

Спроектированы три вида схем с охлаждением азотно-гелиевой смеси в турбодетандере (1 вариант), с охлаждением смеси в теплообменнике (2 вариант) и с охлаждением в каскаде дросселирующих устройств (3 вариант).

Анализируя литературный обзор и варьируя различные параметры в схеме, выявлено, что лучший способ для сравнения схем – это изменение перепада давлений в дросселирующих устройствах или турбодетандерах.

Подобраны критерии оценки для сравнения схем. Проведен анализ каждой схемы путем варьирования перепада давления в дросселирующих устройствах и турбодетандере.

Выявлена наиболее эффективная схема, это схема с охлаждением в каскаде дросселирующих параметров. Степень извлечения гелия составила 99,99 % масс. от максимального выхода продукта. Расход гелиевого концентрата равен  $1542 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а также содержание гелия в концентрате 76,47 % об. При варьировании перепада давлений в дросселирующем устройстве параметры не изменились.

Также эффективной схемой является вариант с охлаждением азотно-гелиевой смеси в турбодетандере. Расход гелиевого концентрата равен  $1618,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а также содержание гелия в концентрате 69,5 % об. При повышении перепада давления на 100 кПа в турбодетандере содержание гелия в концентрате увеличивается до 71,44 % об.

Данная тема на сегодняшний день очень актуальна в связи со строительством газопровода «Сила Сибири» и Амурского газоперерабатывающего завода. Данная разработка может найти промышленное внедрение на Амурском ГПЗ.

## Список использованных источников

1. Архаров А.М. Гелий: история открытия, технологии ожижения, области применения // Химическое и нефтяное машиностроение, 1995. – №2. – С. 2-9
2. Каменский И.Л., Якуцени В.П., Мамырин Б.А. Изотопы гелия в природе // Геохимия, 1971. №8. – С. 914-930.
3. Якуцени В.П. Геология гелия. – Л.: Л.О. Недра, 1968. – С.232.
4. Якуцени В.П. Традиционные и перспективные области применения гелия // Нефтегазовая геология. Теория и практика. Электрон. Научный журнал ВНИГРИ. [http://www.ngtp.ru/rub/3/5\\_2009.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/5_2009.pdf)
5. Николаев В.В., Молчанов С.А., Каширская Е.О. Гелий: получение, сжижение, хранение, транспортирование, рынок сбыта М.: ИРЦ «Газпром», 1997. – С.51.
6. Андреев И.Л. Гелиевая промышленность в России и мировой опыт создания эксплуатации гелиевого оборудования // Химическое и нефтяное машиностроение, 2011. – №2. – С. 16-22.
7. Мкртычан Я.С, Люгай Д.В., Рубан Г.Н. и др. Гелий России и его роль в решении ключевых проблем научно-технического прогресса. Кн.1. – М.:Нефтегаз, 2012 – С. 125.
8. Якуцени В.П. Сырьевая база гелия: Состояние, перспективы освоения и использования // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2016. – №2. – С.10-22.
9. Кудинов А.Н., Лагунцов Н.И., Нещименко Ю.П. // Международный научный журнал “Альтернативная энергетика и экология”. 2013. № 02/2(120). С. 68.
10. Ремизов В.В. и др. Об экспорте природного газа в страны Азиатско-Тихоокеанского региона // Минеральные ресурсы России, 1999. –№4.– С. 30-35.
11. Технология переработки природного газа и конденсата. Справочники в 2-х частях / Под ред. В.И. Мурина и др. – 2002. Ч.1. – С.517.



12. Якуцени В.П. Сырьевая база гелия в мире и перспективы развития гелиевой промышленности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2009., № 4 – С.1-24.
13. Черепанов В.В., Гафаров Н.А., Минликаев В.З. и др. Новые подходы к освоению гелийсодержащих месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока // Газовая промышленность. 2012, №6. – С.22-26.
14. Феттах Р. Перспективы использования гелия // Нефть, газ и энергетика, 2006. – №3. – С.32-39.
15. Worldwide Look at reserves at reserves and production // Oil and gas J., 2009/ - V.106. – №48. – P.24-25.
16. Мурин В.И. Технология переработки природного газа и конденсата: Справочник В 2 ч. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – Ч.1. – С. 517.
17. Молчанов С.А., Иванов С.И. // Наука и Техника в газовой промышленности. 2011. № 2(46). С. 13.
18. Столыпин В.И., Молчанов С.А., Исаев А.В. Совершенствование технологических процессов Оренбургского гелиевого завода (ОГЗ) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007 №12. С. 42-50.
19. Николаев В.В., Бусыгина Н.В., Бусыгин И.Г. Основные процессы физической и физико-химической переработки газа. – М.: ОАО Издательство «Недра», 1998. – С. 184.
20. ГОСТ 22667-82. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе.
21. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 50 с.
22. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: Учебное пособие. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.

23. Попова С.Н. Управление проектами. Часть I: учебное пособие / С.Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.
24. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утверждено Министерство экономики РФ, Министерство финансов РФ № ВК 477 от 21.06.1999 г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа . - <http://www.cfin.ru/>.
25. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 28.12.2013).
26. Кодексом об административных нарушениях [Электронный ресурс]. - Режим доступа www. URL: <http://www.consultant.ru/popular/koap>.
27. Уголовный кодекс РФ [Глава 19, статья 143] [Электронный ресурс]. - Режим доступа www. URL: <http://www.zakonrf.info/uk/143>.
28. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]. - Режим доступа www. URL: <http://www.consultant.ru/popular/cons>.
29. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2016 годы от 25 декабря 2013 г. [Электронный ресурс]: - Режим доступа www.URL: <http://www.rg.ru/2013/12/30/a904631-dok.html>
30. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда"
31. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
32. СанПиН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
33. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности № 123-ФЗ СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.

34. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
35. ГОСТ EN 894-1-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 1. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления.
36. ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплей.

## Приложение А

(справочное)

### Designing the installation of helium production by low-temperature method (literature review)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ6Б	Еписамбуева Аягма Батожаргаловна		

Руководитель ВКР – доцент отделения химической инженерии ИШПР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения химической инженерии	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н., доцент		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сыскина Анна Александровна	к.ф.н		

## Приложение А

### 1 Literature review

#### 1.1 Main features of helium

Helium is one of the noble gases of group O in the periodic table. It's the second lightest element. The main helium source in the world is a series of fields of natural gas in the United States.

Helium is a colourless, odourless, insipid and non-toxic gas. It's less soluble in water than any other gas. It's the less reactive element and doesn't essentially form chemical compounds. The density and viscosity of helium vapour are very low. The termic conductivity and the caloric content are exceptionally high. Helium can be liquefied, but its condensation temperature is the lowest among all the known substances.

Helium is a chemical element with the symbol He and atomic number 2. Helium is a colorless, tasteless and odorless gas. Helium is the second most common element in the Universe (after hydrogen), making up around 24% of its mass.

Helium is part of a group of chemical elements called noble gases, the other five that occur naturally are neon, argon, krypton, xenon and radon. Under normal conditions they share similar properties, including being less likely to participate in chemical reactions due to their outer shell of electrons being full. Helium is the second least reactive element after neon.

French and English astronomers Pierre Janssen and Norman Lockyer are jointly credited with discovering helium after spectral analysis of sunlight following a solar eclipse in 1868.

The word helium comes from the Greek word meaning sun (helios). It was named by Lockyer and English chemist Edward Frankland.

The USA is the world's largest supplier of helium, with many reserves found in large natural gas fields.

The rate at which helium is currently being used by humans is much faster than the rate at which the reserves are being replenished. New technologies for

obtaining or recycling helium are one way for gas companies to help slow this problem.

Because helium is lighter than air it is commonly used to fill airships, blimps and balloons. As it doesn't burn or react with other chemicals, helium is relatively safe to use for this purpose.

While hydrogen is 7% more buoyant than helium it has a much higher fire risk. Helium can be in a liquid and even solid state but they can only occur at temperatures near absolute zero.

Liquid helium is used to cool metals for superconductivity use. The European Organization for Nuclear Research's (CERN) Large Hadron Collider uses liquid helium to maintain an extremely low temperature.

Helium is often used in space programs, displacing fuel in storage tanks and having other rocket fuel applications.

Table 1 – Chemical, physical and thermal properties of Helium

Molecular Weight	4.0026
Specific Gravity	0.138
Specific Volume ( $ft^3/lb$ , $m^3/kg$ )	97.86, 6.11
Density of liquid at atmospheric pressure ( $lb/ft^3$ , $kg/m^3$ )	7.80, 125
Absolute Viscosity ( $lb_m/ft\ s$ , centipoises)	$13.4 \cdot 10^{-6}$ , 0.02
Sound velocity in gas (m/s)	1015
Specific Heat - $c_p$ - ( $Btu/lb^\circ F$ or $cal/g^\circ C$ , $J/kgK$ )	1.24, 5188
Specific Heat Ratio - $c_p/c_v$	1.66
Gas constant - $R$ - ( $ft\ lb/lb^\circ R$ , $J/kg^\circ C$ )	386, 2077
Thermal Conductivity ( $Btu/hr\ ft\ ^\circ F$ , $W/m^\circ C$ )	0.086, 0.149
Boiling Point - saturation pressure 14.7 psia and 760 mm Hg - ( $^\circ F$ , $^\circ K$ )	-452, 4.22
Latent Heat of Evaporation at boiling point ( $Btu/lb$ , $J/kg$ )	10.0, 23300
Critical Temperature ( $^\circ F$ , $^\circ K$ )	-450.3, 5.2
Critical Pressure (psia, $MN/m^2$ )	33.22
Critical Volume ( $ft^3/lb$ , $m^3/kg$ )	0.231, 0.0144
Flammable	no

## 1.2 Uses of Helium

This element is used in cryogenics. The science of cryogenics (behavioral study of elements at very low temperatures) utilizes the maximum portion of helium that is being produced commercially. Out of the total helium production, around 25% is used in cryogenics.

In the process of arc welding, helium gas is used to create a protective atmosphere. It is used for similar purposes in the production of silicon, germanium, zirconium, and titanium.

Superconduction magnets, the electromagnets that are made from superconducting wires, need cooling during their operation. Helium is used to cool these magnets.

Applications of helium can also be found in nuclear medicine. The liquid helium uses and applications can also be found in medical instrumentation.

Chronic and acute forms of respiratory diseases can be treated with the help of this gas. For such treatments, a mixture of helium and oxygen is used. The advantage of using helium mixed with oxygen is that the mixture travels to lungs at a low pressure.

The MRI scanning technology makes use of this gas in its liquid form. The low boiling point of helium ( $-269^{\circ}\text{C}$ ) allows its use in the process of cooling down the MRI magnets.

Another medical application of helium can be found in the process of observing breathing. It is helpful in the treatment of various diseases, like chronic obstructive pulmonary disease, emphysema, and asthma, where lungs are obstructed due to scarring, inflammation, mucous build-up, etc.

A mixture of helium and oxygen is used by divers. The mixture helps in creating an artificial atmosphere and the divers can survive under a high pressure condition. Caisson workers make use of helium too.

### **1.3 World helium resources and the perspectives of helium industry development**

#### **1.3.1 Geological and geochemical patterns of the deep seated helium accumulation**

The processes of helium concentration and dispersion both defined by its genesis and unique physical and chemical properties of this element, such as lightness, permeability and complete inertia, represents the basis of productive helium accumulation in natural gases. The processes of the deep seated of helium accumulation is relatively well studied, beginning with the time-honoured work of G.S. Rogers "Helium-bearing natural gases", published in the U.S. in 1921, as well as more recent studies of Russian scientists – V.V. Belousov, V.P. Savchenko, V.A. Sokolov, A.L. Kozlov, V.P. Yakutseni, V.V. Tikhomirov, etc.

Genetically the main component of helium balance in the lithosphere, its sedimentary cover and natural gases, including the atmosphere, is represented by its heavy isotope  $^4\text{He}$  that have radiogenic genesis. It is continuously formed during radioactive  $\alpha$ -radiation by heavy elements, mainly of uranium-thorium series. Radiated  $\alpha$ -particle is a helium nucleus with double positive charge. When passing through matter it interacts with it and by joining two electrons becomes neutral helium atom - its heavy isotope  $^4\text{He}$ .

According to the law of radioactive decay - the more  $\alpha$ -emitter elements in the rocks are the older their age, i.e. the greater the duration and intensity of radioactive decay process, the heavier isotope of helium generates in rocks. In the lithosphere to the greatest extent these conditions are met by the oldest rocks predominantly of felsic composition - Archean granites, which are widespread in the basement and therefore in the gases of sedimentary cover of ancient platforms.

Light isotope of helium ( $^3\text{He}$ ) is widely distributed in cosmic space. In rocks and gases of lithosphere it is less distributed ( $10^{-6}$ - $10^{-7}$ ) than  $^4\text{He}$ ; and only in gases that flow together with mantle exhalation, i.e. from deep geospheres of planet, its ratio increases slightly:  $^3\text{He}/^4\text{He} \sim n \cdot 10^{-5}$ , though still remains significantly lower than in the outer solar space –  $10^{-2}$ - $10^{-1}$  (Fig. 1).



Thus, the genetic basis for the forecast of the extent of helium generation in the lithosphere is presented primarily by enrichment of lithosphere rocks by elements of U-Th series and their age - the intensity and duration of the process of radiogenic helium generation ( $^4\text{He}$ ).

Considering only genetic parameter for the forecast of helium-bearing potential of natural gases in sedimentary cover is insufficient, since helium should not only be formed in sufficient quantities in rocks-generators, but also during migration into sedimentary cover it should be preserved, that is accumulated in it and, above all, in natural gases. However, due to the unique physical and chemical properties, helium tends to scattering rather than concentration.

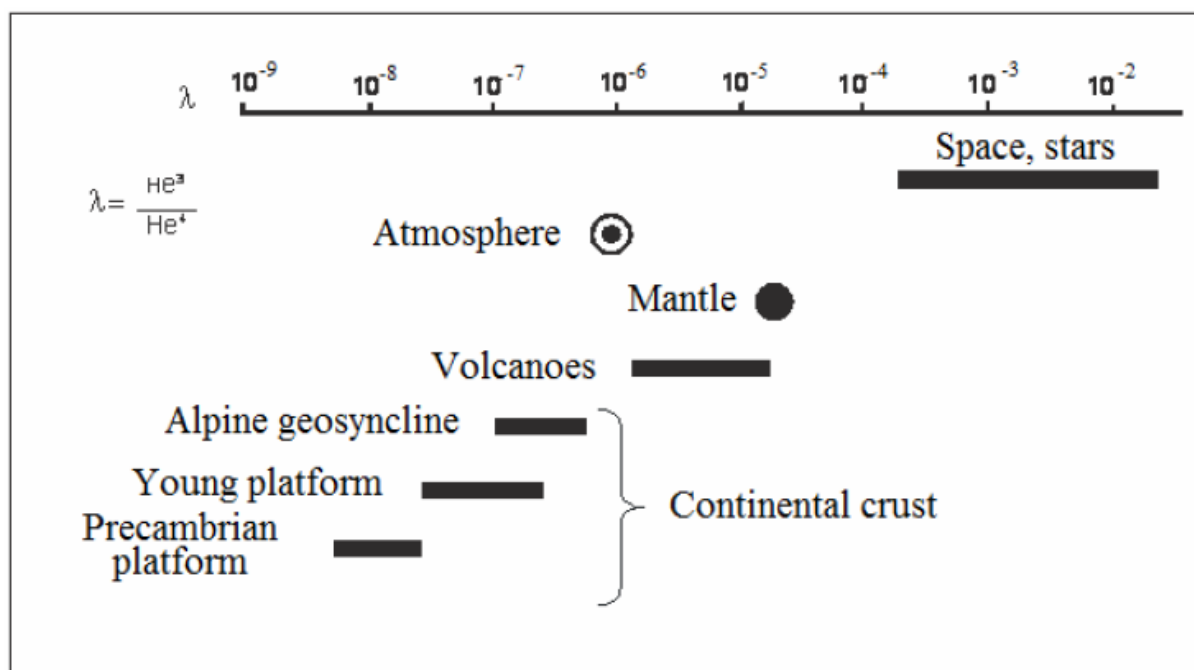


Figure 1 – General helium isotopic location and composition

In terms of lightness and permeability helium is second only to hydrogen, but unlike the latter, it is completely inert in natural conditions, it does not enter any reaction in the inner of the earth and does not accumulate, which, coupled with high permeability contributes to its scattering. Therefore, helium is not found in free accumulations in nature. Actually, these properties of helium led to the fact that it is the only one among inert gases (Ne, Ar, Xe, Kr) that does not accumulate in the atmosphere and is lost by dissipating in the space of near-Earth together with

hydrogen and form helium-hydrogen loop according to A.I. Vernadsky, predicted by him as early as 1911 and subsequently confirmed by space research.

There are other factors that can disturb the processes of accumulation of helium in the sedimentary cover and natural gases. They relate not to helium genesis and properties, but to such helium-independent processes as scale of gas generation and tectonic-magmatic activity of the mantle. The latter promotes pulse-coupled release of helium accumulated in the ancient crystalline basement rocks and its migration into the sedimentary cover, increasing its content in natural gases. Recent time intensive gas generation, especially methane, on the contrary reduces the relative content of helium in free gas accumulations. There are many additional factors that can mask primary helium content in these accumulations. In particular, recurrent gas generation accompanying immersion of gas-producing strata to a greater depth (>5 km) leads to a decrease in initial helium content in them. That is why in areas of deep subsidence of basement the helium content usually sharply reduced even in the Paleozoic sediments.

However, despite some uncertainty in direct forecast of helium-bearing potential of natural gases on the basis of genetic parameters and properties of helium, a high degree of study of its content in the composition of natural gases of majority petroleum basins of the world (more than 200 thousand analyzes) allows forecasting quite correctly the content of helium in some petroleum basins and provinces depending on their geotectonic belonging and mineralogical composition as well as the age of the basement and sedimentary cover and, therefore, to assess its resource base.

The main volume of planetary geological resources of helium is located in the ancient basement rocks and overlying gas-producing platform sediments of Late Proterozoic and Paleozoic period. In the free accumulations of hydrocarbon gases they are concentrated mainly at depths less than 3.5 km in continental structures of ancient platforms with granite basement mainly of pre-Proterozoic age.

Helium-bearing potential of offshore natural gases are usually lower compared to the continent, even in Paleozoic sediments on the shelf, which is

apparently due to the influence of younger oceanic crust and its basaltic composition depleted by  $\alpha$ -emitters of U-Th series.

In the Mesozoic-Cenozoic deposits of young platforms, as well as areas of deep subsidence of basement the helium content in natural gases usually decreases sharply, averaging 0.01-0.02% at Epihercynian platforms and 0,001-0,005% in the areas of modern deep subsidence (Table 2). Exceptions to this rule up to “giant” helium content ( $> 1\%$ ) are usually associated with gas manifestations in the intermountain depressions formed in areas of recent (Mesozoic-Cenozoic) tectonic-magmatic activity within the ancient basement rock outcrops (Rocky Mountains, USA; perhaps Tarim petroleum basin, China), especially in nitrogen and carbon dioxide gases.

Table 2 – Classification of natural gases related to their helium-bearing potential

Predominant ranges of helium concentration, %	Helium content in gases	Predominant age of productive deposits	$^3\text{He}/^4\text{He}$	Main geostructural confinement of petroleum basin
$< 0,005$	Very low	Cenozoic	$10^{-7}$ - $10^{-6}$	Modern mobile belt; different structural elements of the Alpine belt and transition zones, deep deflections ( $>5\text{km}$ )
0,005-0,009	Low			
0,010-0,049	Slightly lower	Mesozoic	$10^{-7}$	Epihercynian platform, more rarely – boundary zones of ancient platforms with deep subsidence areas. Shelf zones
0,050-0,099	Slightly high	Paleozoic and Proterozoic	$10^{-8}$	Ancient platform stable and moderately activated in the early era of tectogenetic
0,100-1,000	High			
$> 1,000$	Very high	Paleozoic, more rarely Mesozoic	$10^{-6}$ - $10^{-8}$	Sharply intensified areas of ancient platforms with Meso-Cenozoic tectonic and magmatic activity

### **1.3.2 Helium resources in the world**

The assessment of helium resource base is based on two independent parameters – resources (reserves) of natural gases (free gases), differentiated by age and depth; and the weighted average helium content in them.

There are no conventional conditions for helium content in gases used for its commercial production around the world. Because the wide variety of its concentrations in gases of petroleum provinces individual countries are obliged to recover it out of those gases, which they possess. Thus, in France the helium plant operates for a long period of time (approximately since 1960) on the basis of gases with high nitrogen content (12-14%) and helium content of 0.045 % imported from the Groningen field (Netherlands), in Russia – Orenburg plant operates with helium content of about – 0.056%. Yet, the main production of helium is now being conducted in the USA (70% of the world) from gases with more than 0.4% helium content. The approach to the selection of helium resource for its extraction obliges to consider helium in natural gases at different helium content during helium resources assessing in the world. This is justified by the fact that the qualitative gas-helium resource potential inevitably run out together with increasing gas production during the petroleum appraising and development activity primarily in the onshore areas within well exploration and developing within ancient platforms.

Helium reserves are estimated in gases of any chemical composition. If necessary, resources (reserves) of helium dissolved in oil (associated gases) can also be considered, but their volumes are negligible - less than 0.5-0.8% of the total volume of helium in free gases; so it does not change the overall evaluation within the possible precision of calculations.

Accounting of reserves of all kinds of row materials, including helium, shall be carried out subject to the availability of technologies of its extraction from the deep seated areas with economically viable indicators of industrial production taking into account the progress in technology. Extraction of helium from gases is technologically available not only at its content of 0.005%, but even from the air -

0.000527% (in air separation plants). But the cost of helium extraction in this case increases almost in directly invers ratio to its content.

Events, Trends, and Issues: In 2014, as part of the implementation of the Helium Stewardship Act of 2013, the BLM began an auction process to price helium more closely to the open market value. The average price of helium sold to private buyers as a result of this process was \$3.82 per cubic meter (\$106 per thousand cubic feet). By the end of the decade, international helium extraction facilities are likely to become the main source of supply for world helium users. Seven international helium plants are in operation and more are planned for the next 3 to 5 years. Expansions to facilities have been completed as planned in Algeria and Qatar. In 2014, demand for helium worldwide increased, but domestic demand continued to decrease. Additionally in 2014, new domestic production began in Wyoming and more production was expected to start in southwest Colorado in 2015. As a result, demand for the Government's helium production has decreased by 50% over the past 2 years.

Table 3 - World Production and Reserves

	Production		Reserves
	2013	2014	
United States (extracted from natural gas)	69	73	3.900
United States (from Cliffside Field)	49	30	
Algeria	17	25	1.800
Australia	6	6	NA
Canada	NA	NA	NA
China	NA	NA	NA
Poland	3	3	25
Qatar	25	40	NA
Russia	6	5	1.700
Other countries	NA	NA	NA
World total (rounded)	175	180	NA

NA – Not available — Zero.

World Resources: As of December 31, 2006, the total helium reserves and resources of the United States were estimated to be 20.6 billion cubic meters (744

billion cubic feet). This includes 4.25 billion cubic meters (153.2 billion cubic feet) of measured reserves, 5.33 billion cubic meters (192.2 billion cubic feet) of probable resources, 5.93 billion cubic meters (213.8 billion cubic feet) of possible resources, and 5.11 billion cubic meters (184.4 billion cubic feet) of speculative resources. Included in the measured reserves are 0.67 billion cubic meters (24.2 billion cubic feet) of helium stored in the Cliffside Field Government Reserve, and 0.065 billion cubic meters (2.3 billion cubic feet) of helium contained in Cliffside Field native gas. The depleting fields from which most U.S.-produced helium is extracted are Hugoton in Kansas, Oklahoma, and Texas; Panhandle West in Texas; Panoma in Kansas; Riley Ridge in Wyoming; and Cliffside in Texas. These fields contained an estimated 3.9 billion cubic meters (140 billion cubic feet) of helium. Helium resources of the world, exclusive of the United States, were estimated to be about 31.3 billion cubic meters (1.13 trillion cubic feet). The locations and volumes of the major deposits, in billion cubic meters, are Qatar, 10.1; Algeria, 8.2; Russia, 6.8; Canada, 2.0; and China, 1.1. As of December 31, 2010, the AMFO had analyzed about 22,000 gas samples from 26 countries and the United States, in a program to identify world helium resources.

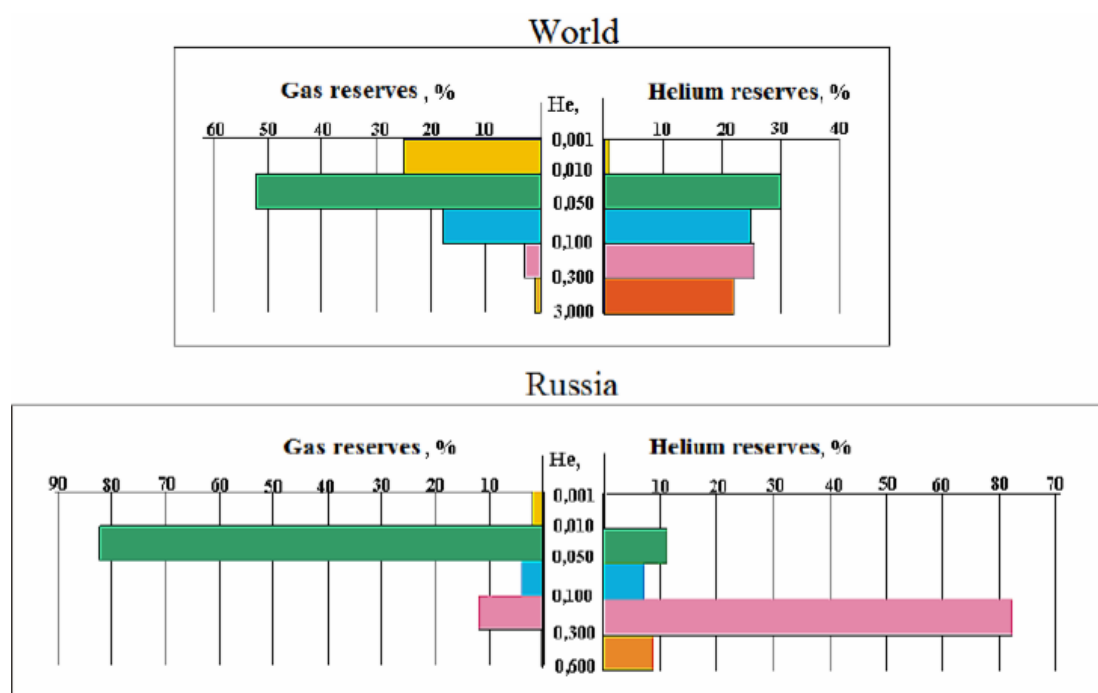


Figure 2 – Distribution of hydrocarbon gases and helium reserves in the world and in Russia

The bulk of natural gas reserves identified in Russia are characterized by relatively low concentrations of helium. Among them all productive Mesozoic sediments of Ciscaucasia, the Caspian Sea region, Western Siberia, Arctic latitudes territories including the northern shelf, as well as the north and east of Eastern Siberia and the Far East (Fig. 3). Helium-bearing potential of natural gases therein varies mainly in the range of 0.008-0.025%. In productive deposits of Cenozoic of Ciscaucasia Sakhalin and Pacific shelf the helium-bearing potential of gases is low, mostly 0.001-0.006%.

In the second half of the XX century the discovery of large reserves of high-quality gas- helium fields in Eastern Siberia (0.2-0.6% helium content) has begun. Among them, first of all, the Kovykta field which specific feature of gas composition was extremely low nitrogen content – 1.5%. Although the helium content there (0.26-0.28%) is lower than in fields of the Midcontinent region (USA), where the helium content varies from 0.7 to 2.0%, but the latter are highly nitrogen (15-26%) (Table 4). Therefore helium concentrate obtained after liquefaction of hydrocarbons and flowed in Cliffside storage, was of lower quality (He ~ 70%) than the He which can be obtained with the same energy consumption from gases of Kovykta field - 85.6%.

On the far south of the ancient Siberian platform 26 gas-helium deposits have been already discovered, some of them with very large ( $> 200$  million  $m^3$ ) or even unique ( $> 1$  billion  $m^3$ ) helium reserves (ABC1+C2) with helium content 0.15-0.57%. There are Kovykta and Dulisminskoye fields in Irkutsk region, Sobinskoye and Yurubcheno-Tokhomskoye in Evenkiya region, Verkhnevilyuchanskoye, Tas-Yuryakhskoye, Sredne-Botuobinskoye and Chayandinskoye in the Republic of Sakha (Yakutia) - among them. Total reserves of helium (category ABC1+C2) only for the fields of Eastern Siberia are estimated to be about 16 billion  $m^3$  with helium content varying in different regions on average from 0.2 to 0.6%. Helium reserves are concentrated in free gas deposits or in gas caps. Many of them are prepared for commercial development, some even developed for local gas supply, but in small amounts (0.1-0.2% of prepared reserves).

It should be noted that helium resources in the region are not limited by already identified fields because the prospecting activity will be continued, and the inferred and the prospective resources of helium in the Eastern Siberian (category C3+D) are estimated to be about 30-35 billion m<sup>3</sup>. In other words, the largest (in terms of already prepared for development reserves and inferred resources) gas-helium province was identified within the south of the ancient Siberian platform; and it has no counterpart in the entire Eurasian continent. It is also important to emphasize that, unlike the North American fields of the Midcontinent region, resource base of which is largely exhausted, the Eastern Siberian resource base hasn't began to developed. However Russia will face the same problem as the USA in due time - the need to maintain reserves of helium resources in the future, as the discovery of new zones with high helium-bearing potential gases is not expected within the entire territory of Russia and neighboring countries (former USSR). New gas-potential on their territories will be associated with Mesozoic-Cenozoic gases with poor helium-bearing potential, or from greater depths in the Paleozoic.

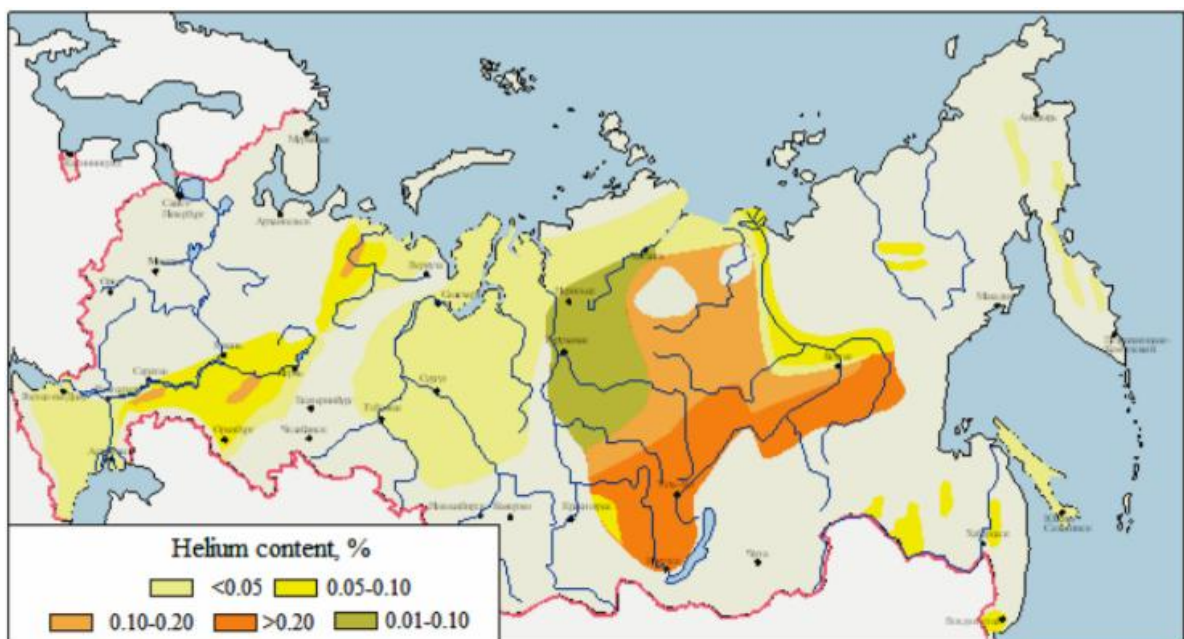


Figure 3 – Scheme of helium content distribution within the Russian petroleum basins



## **1.4 Extraction of helium from natural gas in Russia and in the world**

The following data should be taken into account, when developing the technological schemes of facilities for extracting helium from natural or associated petroleum gases and selecting the parameters of their operation: the composition of the initial gas and the content of helium in it; purity of the resulting helium; installation performance; pressure of the source gas.

The technical and economic parameters of facilities for extracting helium from natural or associated petroleum gases are mainly determined by the composition of the source gas, the content of helium in it, and the choice of refrigerating cycle to cover the losses of cold. The overall balance of the plant refrigeration capacity is determined by the depth of purification of the resulting helium and the proportion of natural gas and heavy hydrocarbons withdrawn in liquid form. The refrigeration capacity of the plant and the temperature regime of the helium recovery process are also affected by the nitrogen content of the source gas. If the unit is designed only for the separation of helium from natural gas, the demand for cold can be covered by using a refrigeration cycle with a single throttling of the original natural gas with pre-cooling (by ammonia, methane or propane). At the same time, the pressure drop of natural gas at the inlet and outlet of the plant does not usually exceed 0.8-1.5 MPa.

In large plants that process natural helium-poor gas, refrigeration cycles with two pressures of gas flows are usually used, and most of the cold loss is covered in the main refrigerating cycle with a high pressure drop. In plants for the complex separation of natural gas to produce a portion of gases in the liquid state, a cascade refrigeration cycle, for example propane-ethane, can be used. Liquid nitrogen, used as a coolant, in the final stages of the extraction and fine purification of helium is expediently obtained in the circulation nitrogen cycle, i.e. in separate nitrogen plant using nitrogen pre-cooling by reverse natural gas streams.

### 1.4.1 Methods for extracting helium

The production of helium from natural gas is carried out in four ways: by absorption with fluorine-containing compounds; hydrate formation; membrane technology; cryogenic methods.

*The preparation of helium by absorption with fluorine-containing compounds.*

The absorption process of helium production is based on the high absorptivity of fluorine-containing compounds ( $\text{CCl}_3\text{F}$ ,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  etc.) with respect to the components of natural gas, except helium. For example, methane in these compounds is 10-20 times more soluble than helium. With a decrease of the absorption temperature to  $-20 \div -30^\circ \text{C}$ , the solubility of all gas components increases, and for helium this solubility increases significantly less than for other components. Thus, from the absorber at the helium production facility, helium of sufficiently high concentration exits.

*The production of helium by hydrate formation.*

The production of helium by hydrate formation is based on its inability to form crystalline hydrates at low temperatures and elevated pressures, while other gas components (light hydrocarbons, carbon dioxide, hydrogen sulphide, nitrogen) form crystalline hydrates. However, a significant drawback of this process is the great need for water, since the ratio of water and natural gas supplied to the contactor must be in the range from 20: 1 to 100: 1 by mass.

*Production of helium by membrane technology.*

The membrane method of extraction of helium from natural gas is considered as one of the alternative and promising. It is based on the high ability of helium to penetrate membranes and capillaries, and this technology has a low energy capacity compared to other methods.

The material from which the capillaries are made can be quartz glass, which is good for transmitting helium and poor for other components of natural gas. Under certain conditions, significant amounts of helium can be collected in such capillaries. For this purpose, the mixture must be in contact with a large surface and the glass must be very thin. In addition, it is necessary to maintain a large difference in

pressure outside and inside the capillaries. The most successful configuration for creating such conditions is the arrangement of a beam of glass capillaries in such a way that the gas mixture under high pressure flushes the capillaries in which helium is collected. To carry out the process, a beam of capillaries sealed on one side is placed inside the tube, through which gas or crude- helium pass. The capillaries with open ends approach the common collector, into which helium is displaced.

Cellulose acetate and various polymer compounds can also be used as materials for the manufacture of membranes. Membranes for helium extraction must have high permeability for helium, be chemically and physically stable, do not have microporous defects, withstand relatively low temperatures and high pressure drops between the processed natural gas and the resulting helium concentrate. The process is carried out at temperatures from  $-5$  to  $+25$  °C, the pressure drop across the membrane reaches 2.5-3.5 MPa and above, the content of helium in the resulting concentrate is 80-90 vol.%. The membrane method is quite effective with small amounts of processing raw materials.

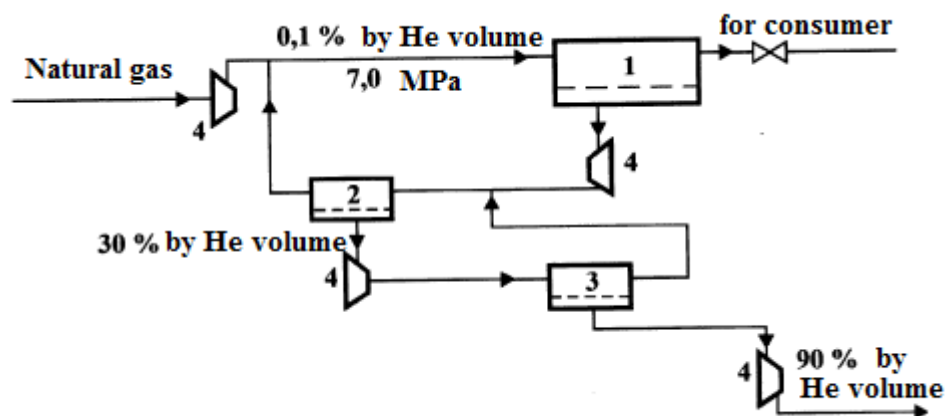


Figure 4 – Schematic diagram of the installation of the extraction of helium from natural gas: 1, 2, 3 – membrane apparatus, respectively, the first, second and third stages; 4 – compressors

In the world practice, a cryogenic method is mainly used for the purpose of extracting helium from natural gas. It is also used for the extraction of other individual components from natural gas, as well as in the production of LNG. The

use of an adsorption method for the extraction of helium from natural gas is extremely difficult. It requires adsorption of the entire volume of methane and other components of natural gas, which in turn will lead to significant dimensions of the equipment used and increase of capital costs for the installation.

#### **1.4.2 Low-temperature method for obtaining helium**

The cryogenic method of obtaining helium is most widely spread and is based on the consequent condensation of the components of natural gas at the temperature decreases. Cryogenic installations produce crude-helium or helium concentrate with helium content of 50-85% by volume, which is then subjected to chemical, adsorption or catalytic purification to produce high purity helium (up to 99.995% by volume).

There are two versions of technological schemes of cryogenic plants (figures 5, 6).

Under version I (figure 5) natural gas at a pressure of 2.0 MPa is cooled in recuperative heat exchangers to  $-28^{\circ}\text{C}$  and ammonia to  $-45^{\circ}\text{C}$ , then throttled to 1.2 MPa and enters the column. Mainly methane with an admixture of nitrogen V is separated from the gas in it, and a gas with a helium content of about 3% by volume escapes from above. This gas once again condenses (boiling at 0.4 MPa by nitrogen) in the second column, from the top of which the helium concentrate III containing up to 80-90% helium leaves. The top of the first column is cooled by its own bottom liquid, throttled to a pressure of 0.15 MPa.

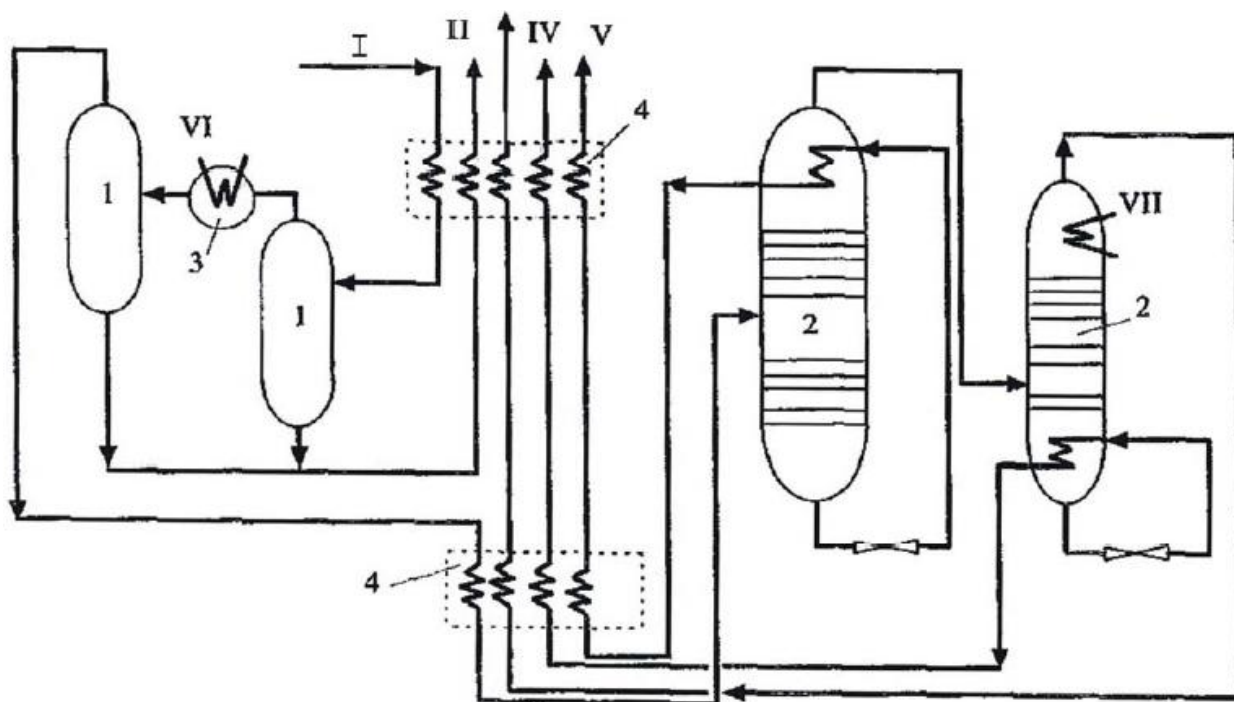


Figure 5 - Schematic diagram of obtaining helium concentrate (version I): 1 – separators; 2 - columns; 3 - refrigerator; 4 - recuperative heat exchangers; I - natural gas; II - liquid hydrocarbons; III - helium concentrate; IV - nitrogen concentrate; V - dry gas (methane-nitrogen mixture); VI - ammonia; VII - boiling nitrogen.

Under version II (figure 6) the purified and dried gas I at a pressure of 3.2 MPa at first cooled by propane, then in two recuperative heat exchangers (with intermediate separation) it cools to  $-104^{\circ}\text{C}$  and after throttling with a temperature of  $-153^{\circ}\text{C}$  it is fed to the column. Methane mainly leaves the bottom of this column. The top of the column is cooled by the recuperation of the cold that is why it maintains a temperature of  $-191^{\circ}\text{C}$ , at which a mixture of helium and nitrogen is removed from above. This mixture is then post-cooled in two recuperative heat exchangers and divided into a helium concentrate (85%) and a nitrogen concentrate (99.5%) by two helium separators. The latter, expanding in a turboexpander 5, cools the top of the column and is removed as a product. According to this variant, about 85-96% of helium is recovered from its initial content in gas (according to variant I, the extraction rate is lower - does not exceed 85%).

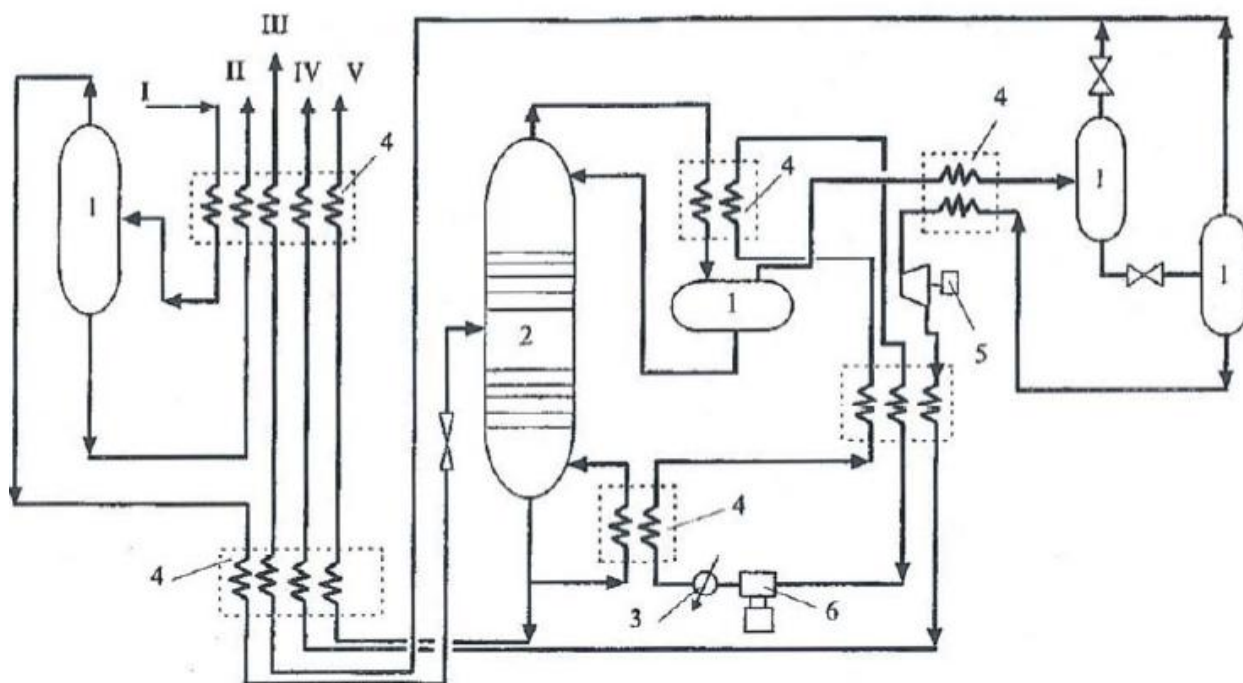


Figure 6 – Schematic diagram of obtaining helium concentrate (version II): 1 - separators; 2 - columns; 3 - refrigerator; 4 - recuperative heat exchangers; 5 - turboexpander; 6 - compressor

The helium concentrate obtained in the cryogenic installations is subjected to deep cleaning using even deeper cooling. Purification is aimed at removal of impurities of hydrogen, nitrogen, methane, etc. from the concentrate and usually consists of four stages:

- 1) purification of the concentrate from hydrogen impurities by its oxidation on a special catalyst containing copper oxide;
- 2) deep drying from the moisture formed during the oxidation of hydrogen, adsorption on molecular sieves-zeolites or aluminum oxide;
- 3) compressing the concentrate to 15-20 MPa and cooling to  $-207\text{ }^{\circ}\text{C}$  followed by its throttling and separation into one or two stages to remove residual nitrogen. The concentrate after this stage contains helium in an amount of 99.5% vol.;
- 4) adsorptive post-treatment of the concentrate on activated coals cooled with liquid nitrogen. After this stage, commodity helium is obtained with a concentration of 99.98% vol.

Commodity helium is stored in compressed or liquefied form. Compressed helium is stored in gas cylinders under a pressure of up to 15 MPa.

To transfer the commodity helium to the liquid state, it is first cooled with liquid nitrogen, then sent sequentially to the turboexpander and the vapor-liquid turboexpander (or throttled). As a result of these processes, helium partially passes into the liquid phase, and it is further purified in the adsorbers located in the cooling units of air and neon admixtures.

The resulting liquid helium is poured into Dewar vessels of various capacities, and large quantities (up to 120 m<sup>3</sup>) into cryogenic storage.

Table 7 – Requirements for commercial products of obtained helium installations

<b>Volume fraction</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Helium,% not less than <sup>1</sup>	99.995	99.99	-
Helium + neon,% not less than <sup>1</sup>	-	-	99.99
Hydrogen,%, not more than	0.001	0.0025	0.0025
Oxygen + argon,%, not more than	0.0001	-	-
Oxygen,%, not more than	-	0.0005	0.001
Nitrogen,%, not more than	0.0005	0.002	0.004
Argon,%, not more than	-	0.0001	0.001
CO <sub>2</sub> +CO, % not more than	0.0002	0.001	0.001
Hydrocarbons, % not more than	0.0001	0.0005	0.003
Neon,%, not more than	0.004	0.009	0.004
Vapor,%, not more than	0.0005	0.002	0.002

<sup>1</sup>The volume fractions of helium and helium + neon are given in terms of dry matter.

The drawbacks of cryogenic helium production are the large costs of plant construction (cryogenic operation requires special materials, complex instrumentation, etc.), as well as significant energy costs for cooling and liquefying natural gas components. In the cryogenic method used in the Orenburg helium plant, three times throttling (rarefaction) and heat transfer from the incoming gas to the reflux of the cooled gas are used to cool the gas. In addition, as an additional source of cold, the propane and then the nitrogen refrigeration unit is turned on. When

extracting the ethane fraction, the turboexpander turns on. In the process of gradual cooling of the gas to  $-195^{\circ}\text{C}$ , all the main components are liquefied, and a helium concentrate with a helium content of 90-92% is produced. Then the concentrate enters special blocks of fine cleaning, where also due to the liquefaction of nitrogen residues at the temperature of boiling nitrogen and pressure of 19 MPa, the concentration of helium is brought to its compliance with mark "A" - 99.995%. The second stage is also carried out by adsorption of nitrogen and other impurities in cryogenic adsorbers (for example, this is done in Poland) or by the method of short-cycle adsorption (PSA), which is widely used in the USA.

At present, the method of low-temperature condensation and rectification of the main components of natural gas remains the most reliable and the most productive, allowing the processing of natural gas at a high speed. The proposed other methods of obtaining helium concentrate can't yet be competitive in terms of reliability, productivity and capital costs. Their development remains at the level of either unrealized projects, general descriptions, or, at best, in the form of operating laboratory units or pilot plants.